

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

Měření technického stavu strojů Heller H 2000

***Measurement of the Technical Condition of Machines
Heller H 2000***

Student:

Bc. Martin Kolář

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.

Ostrava 2013

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Kolář**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 72 Technická diagnostika, opravy a udržování
Téma: **Měření technického stavu strojů Heller H2000**
Measurement of the Technical Condition of Machines Heller H2000

Zásady pro vypracování:

Na základě požadavků a podkladů zadavatele proveďte posouzení současného technického stavu horizontálních vřeten u strojů HELLER H2000. Při zpracování využijte dostupných prostředků technické diagnostiky a dále zpracujte návrh případných doporučení, které povedou k prodloužení životnosti a zvýšení provozní spolehlivosti sledovaných zařízení.

V rámci zadání zpracujte:

1. Úvodní rešerši k provozu strojů HELLER H 2000, jejich významu a začlenění do výrobního procesu daného provozu.
2. Vyhodnocení současného stavu v provozu sledovaných zařízení na základě informací o konstrukci stroje, provozních podmínkách, záznamech o provozu, provedených kontrolách, nápravných opatřeních a podobně.
3. Měření a vyhodnocení provozních stavů horizontálních vřeten u strojů HELLER H2000 s využitím vhodných metod technické diagnostiky.
4. Souhrn doporučení a vhodných postupů, četnosti monitorování a prostředků údržby vedoucích k prodloužení životnosti a zvýšení provozní spolehlivosti sledovaných zařízení v rámci celého provozu.

Další pokyny a konzultace poskytne zadávající firma Česká zbrojovka a.s., Uherský Brod.

Seznam doporučené odborné literatury:

KREIDL, M., ŠMÍD, R. *Technická diagnostika*. 1. vydání, Praha : BEN - Technická literatura, 2006. 408 s. ISBN 80-7300-157-6.

HELEBRANT, F. *Technická diagnostika a spolehlivost IV - Provoz a údržba strojů*. 1. vydání, Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2008, 127 s. ISBN 978-80-248-1690-6.

BRYCHTA, J. *Výrobní stroje obráběcí*. 2. vydání, Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2009. 147 s. ISBN 978-80-248-1893-1.

MAREK, J. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. 2. přeprac. vydání, Praha : MM publishing, 2010. 420 s. ISBN 978-80-254-7980-3.

KOPÁČEK, J. *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. 159 s. ISBN 80-03-00308-3.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ladislav Hrabec, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 20. 5. 2013




.....

podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB - TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB -TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby.

V Ostravě: 20. 5. 2013



.....

Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Martin Kolář

Adresa trvalého pobytu autora práce: Sehradice 198, 763 23

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. KOLÁŘ, M. *Měření technického stavu strojů Heller H2000*. Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2013, 90 s. Diplomová práce, vedoucí práce Ing. Hrabec, L

Diplomová práce se zabývá zjišťováním technického stavu vřeten u strojů Heller H 2000 ve firmě Česká zbrojovka a.s. Uherský Brod. Tyto stroje jsou důležitou a nedílnou součástí v postupu výroby zbraní. Na začátku práce se postupně seznámíme s profilem firmy, údržbou podniku, charakteristikou strojů atd. Dále zde budou popsány vřetenové ložiska a jejich diagnostika. V praktické části je pak uveden popis a vyhodnocení měření stavu vřeten strojů. Práce je doplněna přílohami.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

Bc. KOLÁŘ, M. *Measurement of the technical condition of machines Heller H2000*. Ostrava: Department of Production Machines and Design, Faculty of Mechanical Engineering, VSB - Technical University of Ostrava, 2013, 90 p. Master thesis, supervised by Ing. Hrabec, L

The thesis is concerned with identifying the technical condition of the spindles of the machines Heller H 2000 in the company Česká zbrojovka a.s. Uherský Brod. These machines are important and integral part of the process of production of weapons. At the beginning of the work we get acquainted with the company profile, maintenance of the factory, machine characteristics, etc. In addition, there will be described spindle bearings and diagnostics. In the practical part is a description and evaluation of the measurement of the spindles of the machines. The work is supplemented by annexes.

KLÍČOVÁ SLOVA: technický stav, vibrodiagnostika, stroj, vřeteno

KEYWORDS: technical condition, vibrodiagnostics, machine, spindle

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A INDEXŮ	9
1 ÚVOD.....	11
2 ČESKÁ ZBROJOVKA A.S. A ORGANIZACE ÚDRŽBY	12
2.1 Profil podniku	12
2.2 Systém údržby v podniku	14
2.2.1 Údržba v podniku.....	14
2.2.2 Současná údržba v podniku	15
2.3 Preventivní údržba v podniku	16
2.4 Vibrodiagnostika v podniku	17
3 TECHNICKÁ CHARAKTERISTIKA STROJŮ	20
3.1 Obráběcí centrum Heller H 2000	20
3.2 Charakteristika ložisek	22
3.3 Používaná maziva a provozní kapaliny	24
4 KONTROLA TECHNICKÉHO STAVU STROJŮ	26
4.1 Diagnostika přesnosti obráběcího stroje.....	26
4.1.1 Diagnostika dle ISO 230 – 1.....	27
4.1.2 Diagnostika dle ISO 230 – 2.....	28
4.1.3 Diagnostika dle ISO 230 – 4.....	29
4.2 Diagnostika částí CNC strojů	30
4.2.1 Vibrodiagnostika.....	30
4.2.2 Tribodiagnostika	30
4.2.3 Termodiagnostika	31
4.3 Diagnostika ložisek vřeten.....	31
4.3.1 Vřetenová ložiska.....	31
4.3.2 Poruchy valivých ložisek.....	34
4.3.3 Fáze poškození ložiska.....	35
5 ROZBOR VHODNÝCH METOD PRO SLEDOVÁNÍ TECHNICKÉHO STAVU STROJE HELLER H 2000.....	36
5.1 VIBRODIAGNOSTIKA	36
5.1.1 Základní sledované veličiny	36
5.1.2 Snímače vibrací.....	36
5.1.3 Vyhodnocení vibrací dle normy ČSN ISO 10816	38
5.1.4 Vibrodiagnostika valivých ložisek.....	38

5.2	Tribodiagnostika	45
5.2.1	Měření viskozity	47
5.2.2	Obsah vody	49
5.2.3	Číslo alkality a kyselosti.....	50
5.2.4	Kód čistoty.....	52
5.2.5	Částicová analýza – ferografie.....	53
5.2.6	Hodnocení chladících a mazacích kapalin	55
5.2.7	Infračervená spektrometrie (FTIR)	55
6	NÁVRH A REALIZACE MĚŘENÍ	57
6.1	Software DDS 2011	57
6.2	Navržení vlastního měření.....	60
6.2.1	Měřicí místo na strojích Heller H 2000.....	61
6.2.2	Výpočet frekvencí.....	62
6.2.3	Použité měřicí přístroje	63
6.2.4	Měřené veličiny	65
6.2.5	Vyhodnocení vibrodiagnostického měření.....	67
6.2.6	Celkové porovnání hodnot u strojů Heller H 2000	76
6.2.7	Celkové doporučení	77
7	ZÁVĚR.....	79
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	81
	SEZNAM PŘÍLOH.....	84

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A INDEXŮ

a_{RMS}	Efektivní hodnota zrychlení	$[\text{mm} \cdot \text{s}^{-2}]$
c	Konstanta viskozimetru	$[\text{mm}^2]$
f	Frekvence	$[\text{Hz}]$
t	Teplota	$[\text{°C}]$
τ	Aritmetický průměr průtoku	$[\text{s}]$
ν	Kinematická viskozita	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}]$
	Otáčky	$[\text{min}^{-1}]$
v_{RMS}	Efektivní hodnota rychlosti	
$X_{\text{ef}} (\text{RMS})$	Efektivní hodnota	
$X_{\text{r}} (\text{Peak-Peak})$	Maximální rozkmit	
$X_{\text{s}} (\text{Average})$	Střední hodnota	
$X_{\text{v}} (\text{Peak})$	Výkmit, špička	
BPFI	Frekvence rázů vnějšího kroužku ložiska	$[\text{Hz}]$
BPFO	Frekvence rázů vnitřního kroužku ložiska	$[\text{Hz}]$
BSF	Frekvence rázů valivých elementů ložiska	$[\text{Hz}]$
CNC	Computer Numeric Controll (Počítačově řízené centrum)	
ČSLA	Čs. Lidová armáda	
ČSN	Česká státní norma	
FFT	Fast Fourier Transform (Rychlá Fourierova transformace)	
FTF	Frekvence rázů klece ložiska	$[\text{Hz}]$
FTIR	(Fourier Transform Infrared) (Fourierova infračervená transformace)	
HF	High Frequenci Emission (Metoda vysokofrekvenčního vyzařování)	
ISO	International Organization for Standardization (Mezinárodní norma)	
JIT	Systém včasných dodávek	
KANBAN	Systém řízení a sledování toku materiálu	
K_{v}	Činitel výkmitu	
PEAK	Špičková hodnota vibrací	
PODS	Portable Oil Diagnostic Systém (Přenosný olejový diagnostický systém)	

RMS	Efektivní hodnota vibrací
SEE	Spectral Emitted Energy (Metoda spektrálního vyzařování energie)
SPM	Shock Pulse Method (Metoda rázových pulzů)
TAN	(Total Acid Number) (Celkové číslo kyselosti)
TBN	Total Base Number (Celkové číslo alkality)
TPM	Total Productive Maintenance (Celková produktivní údržba)
VI	Viskozitní index
5 S	Systém čistého a přehledného pracoviště

1 ÚVOD

Tato diplomová práce vznikla v rámci vzájemné spolupráce mezi VŠB – TU Ostrava a Českou zbrojovkou a.s. Uherský Brod, která patří mezi nejvýznamnější producenty ručních zbraní na světě.

Práce se zabývá problematikou měření technického stavu horizontálních vřeten u strojů Heller H 2000, který byl zjišťován za pomoci vibrodiagnostiky. Tato metoda patří mezi jedny z hlavních disciplín moderní diagnostiky a je nedílnou součástí údržby strojů. Pomocí sledování stavu vibrací a měřících přístrojů dokážeme odhalit jak poruchu v jejím začátku, tak i probíhající závadu a díky tomuto ji buď odstranit či zastavit její průběh. Ze začátku práce zde bude popsána historie České zbrojovky a.s. Uherský Brod, údržba podniku a kompletní charakteristika strojů Heller H 2000, na kterých se bude určovat aktuální stav jejich horizontálních vřeten.

Dále zde budou popsány možnosti kontroly technického stavu stroje, nasazení vibrodiagnostiky a tribodiagnostiky při údržbě strojů. V poslední a hlavní části práce bude uveden návrh a realizace měření stavu vřeten, kde se postupně seznámíme se softwarem DDS 2011, jenž bude použit pro vyhodnocení dat z měření, s měřícím místem u strojů Heller H 2000, poruchovými frekvencemi vřetenových ložisek, měřícími přístroji a s nejdůležitější částí kapitoly vyhodnocením stavu vřeten dle měření a následným doporučením pro jejich další provoz.

Hlavním cílem práce je stanovit měřením, zda jsou horizontální vřetena ve strojích Heller H 2000 vyhovující pro další provoz. Dalším cílem je, na základě výsledků měření určit dobu časových intervalů pro kontrolu stavu vřeten a doporučení pro údržbu stroje.

2 ČESKÁ ZBROJOVKA A.S. A ORGANIZACE ÚDRŽBY

2.1 Profil podniku

Česká zbrojovka a.s. Uherský Brod je dlouholetým a jedním z nejvýznamnějších světových výrobců ručních palných zbraní. Byla založena roku 1936, kdy byla do Uherského Brodu přeložena výroba důležitých zbraní jako letecký kulomet vzor LK 30, raketové pistole, armádní pistole z důvodu začínající hrozby nástupu nacismu. S postupem doby se výroba rozšiřuje i na civilní sektor a začínají se vyrábět sportovní pistole, lovecké zbraně, ruční pistole a vzduchové pistole. V roce 1992 byla založena Česká zbrojovka, akciová společnost, Uherský Brod, kterou je i v současnosti. Své výrobky vyváží přibližně do 100 zemí světa. Díky vysoké kvalitě a vynikajícím vlastnostem zbraní si vytvořila za dobu své existence vysokou image jak na domácím, tak i na světovém trhu a je schopná obstát v konkurenci jiných firem díky svému vývoji a výzkumu zbraní. Každý rok se investují velké finanční prostředky do vývoje, nákupu a modernizace technologií, a to zejména pořízení CNC strojů. V podniku se využívá nespočetně mnoha pracovišť a strojů pro výrobu zbraní.

Výroba zbrojovky působí v těchto třech oblastech přesného strojírenství:

- zbraně pro ozbrojené složky armády a policie, jakož i pro sportovní a lovecké účely
- výrobky, díly a sestavy pro letecký a automobilový průmysl
- speciální nářadí pro strojírenskou výrobu



Obr. 1. Logo Česká zbrojovka a.s. Uherský Brod [3]

K významným a hodně známým výrobkům patří vojenská útočná puška SA vz. 58 (Obr. 2), která se zařadila v roce 1958 do výzbroje ČSLA. Od této doby se používá v naší armádě dodnes s malými úpravami, díky své mimořádné jednoduchosti a vysoké spolehlivosti při boji. Vyráběla se ve třech variantách, a to pěchotní, výsadkářská a s pevnou pažbou pro nasazení infradalekohledu.



Obr. 2. SA vz. 58 - verze s pevnou pažbou [3]

Nástupce SA vz. 58 se stala moderní útočná puška CZ 805 BREN, která vyhrála výběrové řízení pro nové vyzbrojení armády ČR. Je to modulární typ pušky, tedy stavebnicového typu pro jednoduché a rychlé rozebrání, mimořádně odolná, neboť splňuje požadavky na spolehlivou funkci ve ztížených podmínkách. Puška se vyrábí na nejmodernějších CNC obráběcích strojích. Dle požadavků armády se vyrábí dvojí provedení, a to: CZ 805 BREN A1 a KARABINA CZ 805 BREN A2, které se od sebe liší délkou hlavně.



Obr. 3. CZ 805 BREN A2 [3]

K dalším významným výrobkům patří služební a obrané zbraně, kterými je vybavena Policie ČR a vychází z legendárního modelu CZ 75. K nejnovějším patří CZ 75 D COMPACT a CZ 75 P-07 DUTY. A dále byla obnovena výroba legendárního samopalu CZ vzor 61 Škorpion v moderní verzi SCORPION EVO 3 A1



Obr. 4. CZ 75 D COMPACT [3]

2.2 Systém údržby v podniku

Údržba je soubor všech technických, administrativních a manažerských činností v průběhu životního cyklu strojního zařízení, které jsou zaměřeny na jeho udržení nebo zpětné navrácení do stavu, ve kterém může plnit požadované funkce, pro které byl navrhnut. Je jednou z důležitých a základních činností každého výrobního cyklu, ale je cyklem velmi rozporným. Na jednu stranu spotřebovává finanční prostředky, pracovní sílu, snižuje čas apod. a na druhé straně odstraňuje následky opotřebení, tzn., prodlužuje životnost, zvyšuje provozní spolehlivost, snižuje počet poruch a jiné. Proto je tedy údržba nesporně užitečným nástrojem. Během 20. století prošla velkým rozkvětem, když bylo vyvinuto několik systémů pro její provádění a řízení. [1]

2.2.1 Údržba v podniku

Průběh vývoje údržby v České zbrojovce a.s. úzce souvisí s jejím postavením na trhu, tedy ekonomické a existenční situací. Během let před rokem 1989 se údržba prováděla starými metodami, kdy se jednalo o systém oprav po poruše či se maximálně dělaly preventivní výměny strojních součástí bez toho, že by se znal jejich reálný technický stav. Za dob bývalého režimu tu nebyla žádná konkurence, která by zvyšovala tlak na zkvalitnění efektivity výroby, z toho důvodu nebyla žádná snaha o zavedení novějších metod řízení a koncepce údržby.

Během 90. let 20. století převládala v podniku myšlenka, že si velkou většinu údržby bude podnik provádět sám ze svých zdrojů. Tento způsob zabezpečoval téměř všechnu údržbu, jako je např.: údržba budov, strojů a jejich opravy. Tímto zavedeným systémem došlo k tomu, že při rozvoji podniku narostlo i množství pracovníků v oddělení údržby.

Přestože se s postupem času snižoval stav zaměstnanců na úsecích údržby, kvalita a efektivita prováděných služeb nedosahovala stanovené úrovně. Rovněž bylo dosti těžké sledovat a omezeně používat nové technologie, zařízení a znovu proškolovat personál na nové technologie.

Světové poznatky dokazují, že nesoustředění se na hlavní směr podnikání bývá zdrojem až třetiny zbytečně vynaložených výdajů v podniku. Tuto myšlenku před rokem 2000 pochopili i v České zbrojovce a.s. a začali se držet svého hlavního odvětví. Díky

tomu zde skončila doba amatérismu, kdy se všichni zabývali vším a reorganizovali firmu tak, aby její prioritou byla jen výroba zbraní.

Následkem toho začalo vedení podniku v roce 2000 uvažovat o tom, jak provádět obslužné činnosti s větším efektem. Závěrem se došlo k názoru, že outsourcing co nejvíce služeb mimo podnik je nutností. Současně dospěli k tomu, že takové rozdělení služeb musí být pouze prostředkem pro efektivnější činnosti s ekonomickým přínosem, ale nikoliv hlavním cílem.

Bylo vytyčeno několik cílů ke snížení nákladů při udržení standardu služeb, zavedení systému, díky němuž se zpřehlední tok peněz konkrétním objektům a střediskům a zajištění perspektivisty komplexních obslužných činností díky vybudování pevného obchodního vztahu.

V roce 2002 byl zahájen projekt rozdělení údržby a oprav zařízení podniku. Vypsalo se výběrové řízení, v němž se vybraly v roce 2003 firmy OKIN Facility s.r.o. a M-MOOS s.r.o. Do oblasti činností firmy OKIN byly zařazeny např. údržba budov a zařízení, revize a elektroopravy, údržba areálu podniku, opravy motorových vozíků. Firma M-MOOS prováděla opravy, prohlídky, údržbu zařízení a strojů.

Outsourcing obslužných činností znamenal pro podnik jak finanční, tak i lepší přehled pohybu materiálů. Konečný stav byl však pro zbrojovku nedostačující. Právě proto se rozběhly přípravy na další změny, jejichž výsledkem je současný stav v údržbě.

2.2.2 Současná údržba v podniku

V roce 2005 Česká zbrojovka a.s. začala modernizovat svůj provoz, když aplikovala moderní metody do řízení podniku. Na sledování pracnosti jednotlivých činností byl spuštěn systém MOST. Také byla na zařízení aplikována metoda TPM. Byla nainstalována DNC síť a software údržby. Další systémy, které se zavedly do provozu, jsou 5S (přehled a čistota na pracovišti), JIT (dodávky právě včas) a KANBAN (řízení a sledování toků materiálu). Prvním krokem v použití TPM bylo to, že se na obráběcí hale (hospodářské středisko HS 3150) zavedla samostatná údržba. Zde v současné době zodpovídá Ing. Tomáš Tinka za technický stav zařízení i za věci s nimi spojenými, jako je řešení problémů, zadávání zakázek externím firmám a provozní diagnostické měření vibrací. Na

obráběcí hale se dělají každý den jen běžné činnosti údržby, a to například odstraňování nečistot ze strojů a sledování stavu provozních kapalin (hydraulické oleje, chladicí emulze atd.). Problémy větších rozsahů jsou řešeny přes externí firmy.

V současné době provádí na základě smlouvy v podniku převážnou většinu údržby firma OKIN s.r.o. Firma OKIN s.r.o. nemá exkluzivitu na provádění všech nezbytných činností, pouze do úrovně jejich odborné kvalifikace. Výjimku tvoří záruční a pozáruční servis strojů, který je založen pod plněním smlouvy a vystavení objednávek.

2.3 Preventivní údržba v podniku

S postupnou výměnou strojů z konvenčních na obráběcí centra CNC se začala dostávat do popředí preventivní údržba. Během budování systému údržby se vycházelo z předcházejících systémů:

- systém periodické údržby
- systém neperiodické údržby

Při provádění preventivní údržby obráběcích zařízení je v podniku také využíváno metod diagnostiky, které jsou uvedeny dále:

- **Kontrola přesnosti**

V podniku se kontrola přesnosti obráběcích zařízení provádí měřením pomocí analýzy kruhovitosti. K těmto měřením je používán přístroj Ballbar QC 10.

- **Tribodiagnostika**

U obráběcích strojů se kontroluje hlavně kvalita a čistota chladicí emulze a dělá se pravidelná filtrace kapaliny. U strojů s velkými olejovými náplněmi se provádějí zkoušky kinematické viskozity, obsah nečistot, obsah vody, celkový obsah nečistot. Měření provádí z velké části externí firmy či přímo dodavatelé maziv.

- **Termodiagnostika**

Měření se provádí pomocí snímačů, které jsou umístěny v motorech včetně strojů. Teplota je pak zobrazována pomocí řídicího systému na displeji stroje. Dalším způsobem jak měřit teplotu je pomocí infračerveného bezdotykového teploměru. Jinou možností jak zjišťovat teplotu celého strojního zařízení a dozvědět se tak, jak se jednotlivé součásti

stroje zahřívají, by mohlo být pomocí termokamery, která ale bohužel není součástí vybavení pro údržbu a její pořízení by byl užitečný krok pro zlepšení současného stavu údržby.

- **Vibrodiagnostika**

Provádění vibrodiagnostiky je popsáno v následující kapitole.

2.4 Vibrodiagnostika v podniku

První pokusy, kdy se v podniku začaly měřit vibrace, bylo na konci 80. let. Česká zbrojovka a.s. v roce 1989 poříдила první přístroj na měření Vibrospect FFT. Ale tento stroj byl pro zaměstnance údržby složitý a neuměli ho plně využívat, a proto se po nějakém čase přestal používat.

Druhý pokus byl v roce 1997, kdy byl pořízen nový přístroj Multiviber 2.34. Tento přístroj umožňoval provádět i vyvažování a měření otáček. Ale bohužel se vibrodiagnostika zase neprosadila v údržbě, protože se jí nedostalo pochopení ve využití v predikci technického stavu zařízení a v možnostech ekonomičnosti a efektivity údržby. K tomuto dopomohlo i to, že se na přelomu roku 1999 a 2000 zrušily oddělení vibrodiagnostiky a tribotechniky.

V roce 2005, kdy proběhla reorganizace údržby a zavádění TPM se vibrodiagnostika opět začala v údržbě dostávat do popředí a uplatňovat se v ní. Pro měření se začal používat přístroj MicroVibe P CMVL 3850, který byl podnikem pořízen v roce 2003, ale až v roce 2007 se začal plně využívat.

Vibrodiagnostika se v současnosti využívá k měření vibrací na vřetenech obráběcích strojů. Přístrojem se pouze měří jen absolutní hodnoty rychlosti, zrychlení, výchylky v RMS a PEAK. Bohužel měření frekvenčního spektra se v dnešní době neprovádí, přestože to měřicí přístroj umožňuje.

- **Měřicí technika v podniku**

Pro provádění měření vibrací se v České zbrojovce a.s. stále využívá přístroj MicroVibe P CMVL 3850 (viz. Obr. 5)



Obr. 5. Přístroj MicroVibe P CMVL 3850 [3]

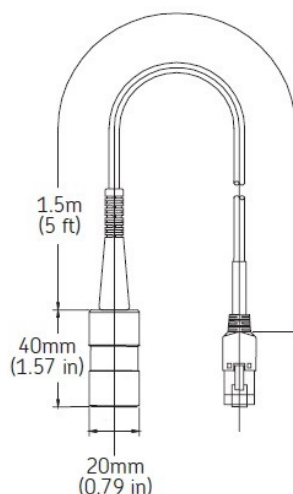
Vlastnosti:

Měření zrychlení, rychlosti a výchylky; funkce pro hodnocení neobvyklostí za pomoci mohutnosti vibrací (ČSN 10 816), měří od nízkých frekvencí po vysoké, vícenásobný systém sběru dat, měření pomocí akcelerometru.

Pokročilé vlastnosti:

Měření vibrací pomocí obálky zrychlení, schopnost FFT spektrální analýzy, zobrazení časových průběhů, analýza hluku, možnost přenosu a uložení dat do PC pro trendování a další analýzu dat.

Typ akcelerometru, který se používá na měření je CMMS 3811. Má napět'ovou citlivost 20 mV/g a frekvenční rozsah 3 Hz až 10 000 Hz.



Obr. 6. Akcelerometr CMMS 3811 [3]

Pozorované stroje jsou vybírány na základě různých zkušeností získaných během provozu stroje, jeho důležitosti ve výrobě, pořizovací ceně, výtěžnosti, velikosti poruch a jiné.

Soupiska pozorovaných strojů vibrodiagnostikou není konečná a vždy se dle potřeby může doplnit o další sledovaný stroj či zařízení.

Měření se dělají v pravidelných intervalech a naměřená data jsou ukládána v elektronické podobě do počítače a pomocí programu Microsoft Excel se data dále vyhodnocují do trendových grafů či se data zapisují písemně.

Interval měření na starších strojích je 1x do roka

Interval měření na moderních strojích je 2x do roka

Pokud se stane neočekávaná změna stavu stroje, jako podezření z poškození součástí stroje či nabourání, dělá se okamžitě kontrolní měření.

Kapitola byla vypracována z materiálů firmy Česká zbrojovka a.s. Uherský Brod [3]

3 TECHNICKÁ CHARAKTERISTIKA STROJŮ

V této kapitole se postupně seznámíme se stroji značky HELLER H 2000, které byly vybrány na vibrodiagnostické měření a u nichž se řešila otázka technického stavu horizontálního vřetene. Středisko, na kterém jsou stroje umístěné, má označení obrobna (číselné označení střediska 3150). Toto pracoviště se nachází zhruba na začátku areálu podniku u hlavní brány a jak je dle názvu patrné, vyrábí se zde závěry na zbraně, obrábí se odlitky atd. Tyto stroje hrají důležitou roli při postupu výroby. Dále se zaměříme na jejich výkonnostní a technické parametry. Tyto parametry ovlivňuje více faktorů např. používané chladicí kapaliny, řezné podmínky a jiné.

3.1 Obráběcí centrum Heller H 2000

Obráběcí centra Heller H 2000 od firmy HELLER se používají především na výrobu závěru pistolí např. DUTY – P – 09 nebo CZ 805 BREN, první dva stroje byly vyrobeny roku 2010 a poslední třetí byl vyroben 2012. Na těchto strojích se obrábí materiály jak konstrukční oceli 15 142.3, tak hliník. Jedná se o čtyř - osé univerzální a velké obráběcí centrum navržené pro vysokou produktivitu a přesnost, poskytuje vynikající frézovací výkon, snáší extrémní zatížení. Jeho ovládání a údržba není náročná. Stroj je modulární koncepce a lze ho snadno upravit na konkrétní požadavky výroby a je ovládán pomocí řídicího systému SINUMERIK 840D sl, umožňující dálkovou diagnostiku. [3]



Obr. 7. Heller H 2000 [3]



Obr. 8. Pouzdro CZ 805 BREN A1 [3]

Vřeteno stroje má dynamicky tuhou, krátkou konstrukci s přesným chlazením, která poskytuje vysokou přesnost při obrábění. Ve vřetenu se může objevit jeden ze tří druhů kužele SK 50/HSK 100/BT 50 a ve stroji může být umístěné jedno ze čtyř druhů vřeten. Nejčastěji je ve stroji typ vřetena s otáčkami $16\,000\text{ min}^{-1}$, výkonem 40 kW a krouticím momentem 95 Nm. Dalšími variantami mohou být vřetena s označením: eko řezání ($10\,000\text{ min}^{-1}$, 17 kW, 81 Nm), vysoká rychlost řezání ($24\,000\text{ min}^{-1}$, 25 kW, 40 Nm) výkonné řezání ($10\,000\text{ min}^{-1}$, 38 kW, 242 Nm). Vřeteno je spojeno s motorem přes pružnou spojku. [3] [21]

Tab. 1. Technické parametry Heller H 2000 [21]

Heller H 2000		
Pracovní prostor X/Y/Z	mm	630 / 630 / 630
Velikost palety	mm x mm	400x500
Maximální rozměry obrobku	mm	ø720x850
Maximální hmotnost obrobku	kg	800 / 500
Posuv	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	60 / 90
Zrychlení	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$	8.0 / 10.0
Kužel ve vřetenu SK/HSK/BT	-	40 / A63 / 40
Počet nástrojů v zásobníku	-	54 / 80 / 160 (400)
Rozměr nástroje	mm	ø160x350 (ø188x350)
Otáčky	min^{-1}	10,000 / 10,000 / 16,000 / 24,000
Výkon (duty cycle=40%)	kW	17 / 38 / 40 / 25
Krouticí moment (duty cycle=40%)	N·m	81 / 242 / 96 / 40
Délka/šířka/výška	mm	4,600/ 2,600 / 3,400
Hmotnost stroje	kg	9,800
Řídicí systém	-	SINUMERIK 840D sl / Fanuc 310i-A

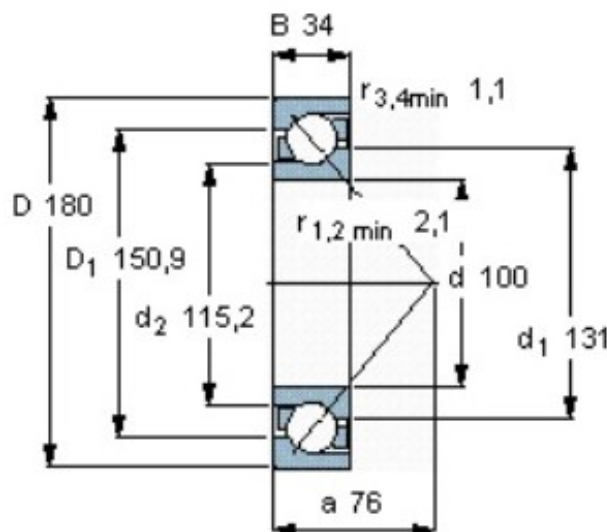
Dle dostupných informací od servisního technika firmy Heller Services s.r.o je vřeteno opatřeno celkem třemi vřetenovými ložisky, dvě jsou umístěné v přední části v tandemu a třetí je menšího rozměru. Jedná se o kuličková ložiska s kosoúhlým stykem od firmy SKF typu 7220 BECBP (vepředu) a 7218 BECBP, obě s označením Explorer. Tyto ložiska jsou vhodná pro vysokou rychlost, pro těžký provoz a mohou zachytit relativně velká radiální i axiální zatížení. Účinné těsnění v kombinaci s mazivem poskytuje řešení s domazáváním po dobu životnosti ložiska. [3]

3.2 Charakteristika ložisek

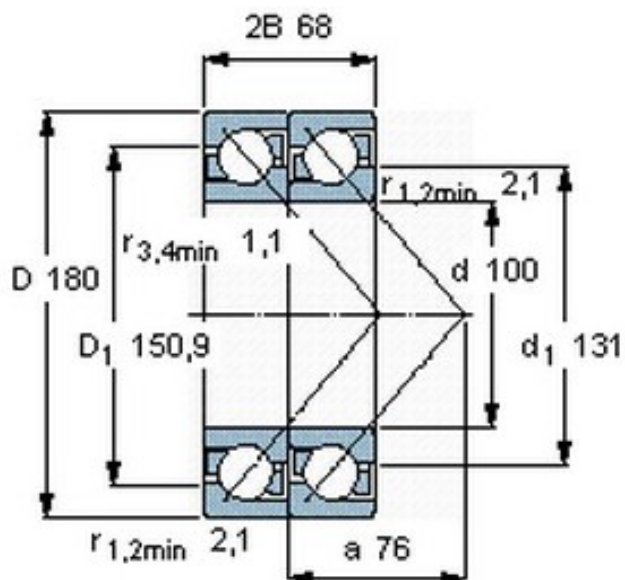
Informace o ložiscích ve vřetenu byly získány od servisního technika firmy Heller Services s.r.o, provádějící záruční servis strojů Heller H 2000.

Přední část vřetene:

V přední části vřetene jsou uložena 2 ložiska v tandemu s označením SKF 7220 BECBP EXPLORER. Při tomto uspořádání ložisek je radiální a axiální zatížení rovnoměrně rozloženo mezi obě ložiska. Avšak dvojice ložisek může přenášet axiální zatížení v jednom směru, a proto se ložiska montují proti třetímu ložisku (zadní část vřetene). [3]



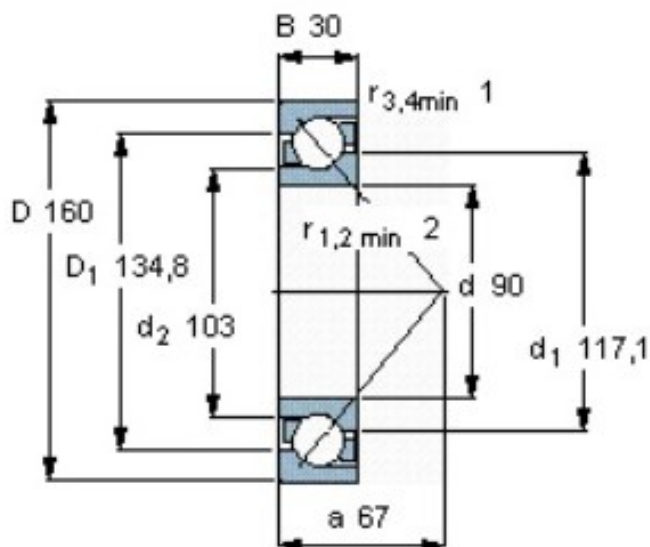
Obr. 9. SKF 7220 BECBP EXPLORER [19]



Obr. 10. SKF 7220 BECBP EXPLORER v tandemu [19]

Zadní část vřetene:

V zadní části vřetene je uloženo třetí ložisko SKF 7218 BECBP EXPLORER.



Obr. 11. SKF 7218 BECBP EXPLORER [19]

3.3 Používaná maziva a provozní kapaliny

Ložiska jsou mazána centrálním mazacím systémem olejovou mlhou. Jako maziva se pro mazání jak ložisek, tak i kluzných vedení používá olej značky Statoil Glideway 68. Centrální mazání, hydraulika a pneumatika jsou umístěné v tzv. fluidním modulu na okraji stroje. Zde se taky nachází chladicí agregát k chlazení vřetena a zásobník s řeznou kapalinou. Kapaliny v těchto zařízeních přechází přes filtrační zařízení a dle stanovených intervalů odběrů se provádí jejich kontrolování stavu použitelnosti metodami tribodiagnostiky. Kapaliny, které se používají, jsou stručně popsány níže. [3]

Statoil Glideway PL 68:

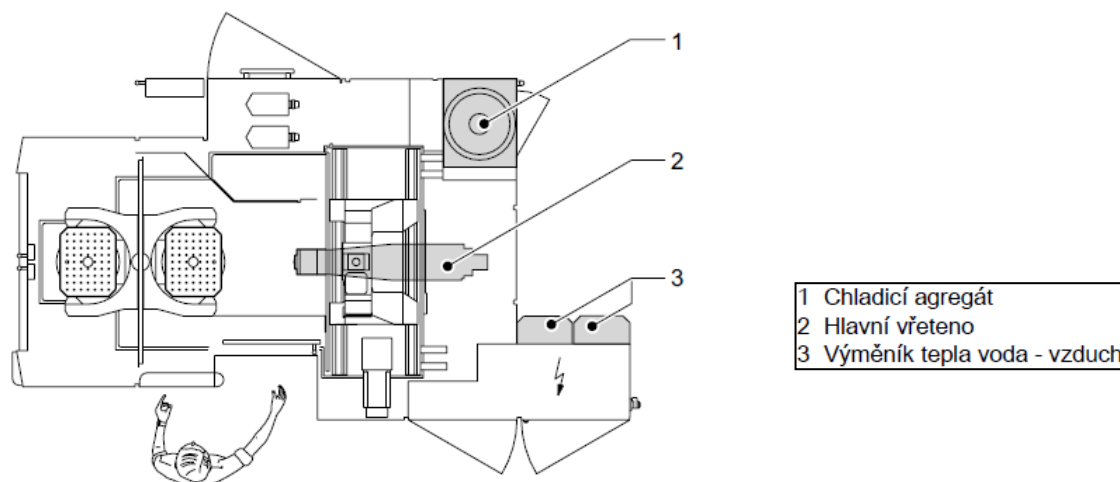
Skládá se ze světlého, hluboce rafinovaného parafinovaného oleje s pečlivě vybranými přísadami, především má dobré deemulgační vlastnosti. Má dobrou tepelnou stabilitu, vynikající přilnavost a zabraňuje opotřebení a korozi. Používá se na mazání kluzných vedení a ložisek. [3]

OH HM 46 – Statoil:

Minerální hydraulický olej s neobyčejně vysokou účinností. Neobsahuje zinek. Doporučuje se pro hydrauliku a mazání ložisek v obráběcích strojích ve vnitřním prostředí a mobilní stroje pracující v nechráněném prostředí. Klasifikován jako ISO: L-HM, DIN:51524/2:HLP, WT-17/2000/STATOIL. [3]

Antifrogen N:

Je čirá, světle žlutá nemrznoucí kapalina. Obsahuje více než 92% ethylenglykolu společně s určitým podílem vody, organických a anorganických solí. Používá se jako chladicí medium v topných systémech, průmyslových strojích atd. a chrání chladicí okruh před korozi. Pro optimální použití by měla být koncentrace směsi s vodou v poměru 65 : 35. Minimální použitelná koncentrace (ředění) pro zajištění dostatečného antikorozního účinku je 20 %. Zároveň se používá jako kapalina pro detekci úniků tekutin. [3]



Obr. 12. Prvky chlazení vřetena a skříňového rozvaděče [3]

Blasser Blasocut BC 935 Kombi:

Používá se u Hellerů H 2000 s označením H1 a H3. Jedná se o univerzální řeznou kapalinu pro obrábění a broušení oceli, litiny a je také použitelná pro smíšenou výrobu z hliníkové slitiny. Je ideální pro jednotlivé stroje a centrální systémy. Slouží k odvodu třísek od obrobku a k jeho chlazení. [3]

Bitol PS:

Používá se u Hellera H 2000 s označením H2. Je to polysyntetická emulzní kapalina, která splňuje požadavky kladené na obrábění moderních materiálů. Emulze je stabilní, má výborné chladicí vlastnosti a dlouhou ochranu proti korozi. Nepění, nevytváří mlhu, nelepí, má velmi nízké opotřebení nástrojů. [3]

4 KONTROLA TECHNICKÉHO STAVU STROJŮ

Kontrolou technického stavu obráběcích strojů se rozumí jejich diagnostika, která se provádí pomocí metod technické diagnostiky. Ta má své důležité postavení v moderně pojaté údržbě a dostává ji tak na vysokou úroveň. K dokonalému zjištění technického stavu stroje se nepoužívá jen jedna metoda technické diagnostiky, ale několik jejích metod, a to proto, aby bylo měření účinnější. Dobrá technická diagnostika obráběcího stroje souvisí s jeho životností a s přesností obrobku. Průběžnou kontrolou stavu stroje se předchází havarijním činitelům, kteří mohou snížit životnost stroje a nepřesnosti výroby. Se současným pokrokem počítačových technologií se vyvíjí i nové metody technické diagnostiky. Z důvodu velkých požadavků na diagnostiku strojů se navrhnou rozsáhlé diagnostické nástroje, a tím se začínají na stroje aplikovat online diagnostické systémy. Tyto systémy dovolují pozorovat technický stav stroje v aktuálním čase při výrobě. Výhoda spočívá v rychlé reakci na možné změny sledovaných parametrů, nevýhodou však jsou technologické, technické a ekonomické požadavky. S ohledem na ekonomické důsledky podniku je nutné zohlednit návratnost investic při aplikaci na dané zařízení. [6]

V České zbrojovce a.s. Uherský Brod jsou jedny z nejdůležitějších výrobních strojů CNC obráběcí stroje, a proto je pro podnik nutné mít přesné informace o jejich technickém stavu. Z tohoto důvodu se metody technické diagnostiky staly nezbytnou součástí pro jejich údržbu, což vede k poklesu rizikovosti delší odstávky strojů, možnosti vzniku poruch a nákladů na opravy strojů. A proto by měl podnik tuto údržbu a metody nadále rozvíjet. Měla by se hlavně sledovat přesnost stroje a provádět diagnostika částí stroje.

4.1 Diagnostika přesnosti obráběcího stroje

Provádění zkoušek obráběcích strojů popisuje norma ISO 230, která má tyto části:

- Část 1: Geometrická přesnost strojů pracujících bez zatížení nebo za dokončovacích podmínek obrábění
- Část 2: Stanovení přesnosti a opakovatelnosti nastavení polohy v číslíkové řízených osách
- Část 3: Určení tepelných vlivů
- Část 4: Zkoušky kruhové interpolace u číslíkové řízených strojů
- Část 5: Stanovení emise hluku
- Část 6: Zkoušky diagonálního přestavení [7]

Další normou zvlášť pro zkoušky CNC strojů je norma ČSN ISO 10791, ale tato vychází z normy ISO 230. V dalších podkapitolách jsou uvedeny jednotlivé části normy ISO 230 a u každé je uvedena jedna metoda měření [7]

4.1.1 Diagnostika dle ISO 230 – 1

Touto metodou se měří základní geometrie stroje. Je možno určit kolmost, přímost, rovinnost, otáčení, rovnoběžnost a shodnost os. [9]

- **Geometrická přesnost – Schlesingerova metoda**

K provádění zkoušky se používají soubory nástrojů, měřících zařízení a zkušebních přípravků pro geometrickou přesnost stroje. Před měřením se stroj ustaví do vodorovné polohy, a pokud je to nutné, odmontují se některé kryty stroje, aby byl přístup k vedení. Stroj se zahřeje na svou tradiční provozní teplotu, tento postup se dohodne mezi výrobcem a uživatelem. Stroj se měří buď za klidného stavu, nebo při chodu naprázdno. Těžké stroje se obvykle zatěžují zkušebními obrobky. Výsledek měření se porovnává s dovolenou tolerancí, kterou určuje buď norma či výrobce stroje. Tolerance vzájemných odchylek pohybů jsou v řádu setin mm a tolerance odchylek rozměrů zkušebních obrobků jsou v řádu setin mm. Záleží hlavně na typu a velikosti měřeného stroje. [8]

Měřící zařízení:

- Mechanické - měřicí trny, vodováhy, granitové hranoly, číselníkové úchylkoměry
- Optické – laserové inframetry



Obr. 13. Zkoušení Schlesingerovou metodou [8]

4.1.2 Diagnostika dle ISO 230 – 2

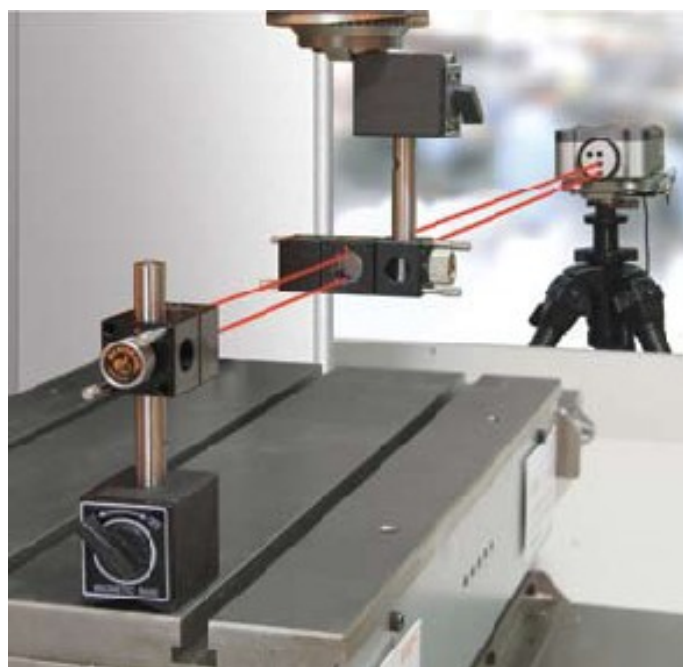
Provádí se laserové (interferometrické) měření geometrie. Tato metoda měření je zatím nejpřesnější diagnostikou obráběcích strojů. Lze jí změřit geometrii stroje, kterou je kolmost, rovinnost, přímost, příčné vůle, seřízení odměřování, mrtvý chod. Měření se dělá vždy na nezatíženém obráběcím stroji a čas měření se odvíjí od typu a počtu měřených rovin. [9]

- **Laserový interferometr Renishaw XL-80**

Tento nový interferometr dovoluje velmi výkonnou kalibraci obráběcích strojů. Je rychlý, přesný a zachovává si výhody systému Renishaw ML10, a to přesnost, spolehlivost.

Interferometr dosahuje zaručené přesnosti lineárního měření $\pm 0,5 \mu\text{m} \cdot \text{m}^{-1}$ ve velkém rozmezí vlivů prostředí. Lze ho využít pro měření přesnosti polohování, měření odchylek geometrie, kompenzaci lineárních chyb, pro pravidelnou recalibraci, opravy atd. Měření je možno uskutečňovat s libovolným krokem a není omezeno velikostí stroje.

Na závěr kalibrace se provede kontrolní proměření stroje a data jsou softwarem uložena a je možné z nich udělat trendy vývoje chyb stroje. Kalibraci odměřovacích systémů je doporučeno realizovat i mimo pravidelné periodické termíny v případech, kdy je na stroji měněno odměřování. [10]



Obr. 14. Laserový měřicí systém [10]

4.1.3 Diagnostika dle ISO 230 – 4

Tato metoda se věnuje měření geometrie a měření seřízení pohonů analýzou kruhovitosti. Měřením je možno zjistit geometrické odchylky obráběcího stroje, jenž jsou přímostí, kolmostí, příčné vůle, mrtvý chod a jiné. Dále elektronické odchylky jako je zpoždění serva, lineární chybu odměřování a vlečnou chybu. Měření se koná vždy na nezatíženém obráběcím stroji a čas měření je závislý na typu a počtu měřených rovin. [9]

- **Měření pomocí přístroje Ballbar QC 10**

Kalibrační systém QC 10 měří přesnost obráběcího stroje. Přesnost lze okamžitě zjistit rychlým testem, který netrvá déle než 10 minut při běžných posuvech a pojezdech stroje. Test kruhové interpolace se uskutečňuje v jedné (soustruhy), popř. více rovinách (centra aj.). Při měření přístrojem Ballbar provádí stroj podle CNC programu pohyb po kruhové dráze se známým poloměrem. Přístroj zaznamenává odchylky naměřených dat od ideálního kruhu. Shoda mezi naprogramovanou a skutečnou odjetou dráhou vypovídá o přesnosti stroje. Vyhodnocovací software pak umožňuje detekovat 21 různých chyb a vypočítat, jak se jednotlivé detekované chyby podílí na celkové naměřené odchylce. Pokud poškození není mechanické, je možno úpravou parametrů odstranit jednotlivé detekované chyby okamžitě.

Na závěr měření jsou data o změnách přesnosti stroje uložena softwarem přístroje do grafu ukazující trend vývoje chyb přesnosti stroje. Díky této funkci lze předvídat a dopředu naplánovat servisní kontrolu.[10]



Obr. 15. Přístroje Ballbar QC 10[22]

4.2 Diagnostika částí CNC strojů

Hlavním úkolem technické diagnostiky je objektivní poznání technického stavu sledovaného stroje, jeho jednotlivých funkčních částí a zajistit jeho schopnost vykonávat požadované funkce za stanovených podmínek, a to nejen v současnosti, ale i v budoucnosti, popřípadě naplánování odstávek strojů k provedení důležitých oprav. Podle zvolené metody technické diagnostiky je možno naměřit a zjistit změnu fyzikální veličiny (vibrace, mazivo atd.), která určuje druh, vznik a průběh poruchy. Technický stav stroje se určí podle této změřené změny fyzikální hodnoty a následně se určí vznik poruchy až do mezního stavu, nebo se vypracuje trend vývoje technického stavu stroje. [6]

Nejzákladnější rozdělení technické diagnostiky je:

- Technická bezdemontážní diagnostika
(vibrodiagnostika, tribodiagnostika, atd.)
- Technická nedestruktivní diagnostika (defektoskopie)

Z hlediska komplexního řešení lze technickou diagnostiku také rozdělit do čtyř fází jejího průběhu:

- **detekce** - odhalení existence vznikající poruchy
- **lokalizace** - stanovení vadné součásti nebo uzlu
- **specifikace** - určení příčiny poruchy
- **predikce** - určení prognózy zbytkové životnosti [11]

Dále uvádím stručné charakteristiky metod z bezdemontážní diagnostiky, které se nejvíce využívají u diagnostiky CNC strojů.

4.2.1 Vibrodiagnostika

K měření se využívá jako diagnostického parametru vibrace. Zjišťuje se stav ložisek a detekce dynamických stavů jako nevyváženost, nesouosost, opotřebení převodů, zadírávání apod. [11]

4.2.2 Tribodiagnostika

Je prováděna z odebraného vzorku oleje či chladicí emulze. Dovoluje tvorbu harmonogramu oprav, zajišťuje spolehlivost chodu stroje. Vhodnou aplikací oleje,

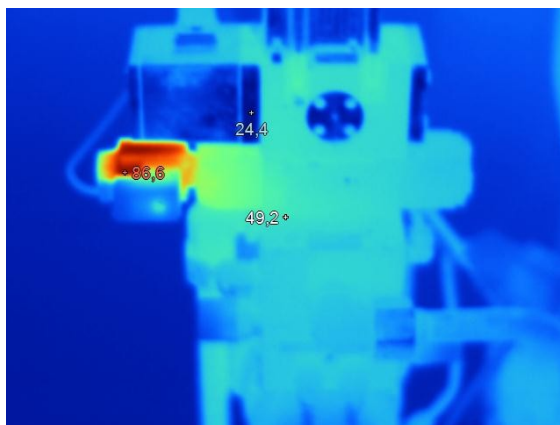
udržováním oleje v nedegradovaném a čistém stavu lze snížit poruchovost a náklady na údržbu stroje na minimum. [11]

Sleduje se:

- kinematická viskozita při 40°C dle ČSN EN ISO 3104
- číslo kyselosti dle ČSN 65 6070
- kód čistoty dle ČSN 65 6206
- mechanické nečistoty filtrací dle ČSN 65 6219
- obsah vody coulometricky dle ČSN 65 0330, ISO 760
- ferografie

4.2.3 Termodiagnostika

Je bezkontaktní měření teploty. Diagnostikovaným parametrem je sálání tepla a zjišťuje se zahřívání jak celého stroje, tak i jeho částí (hydraulika, elektroinstalace atd.) Má široké použití v nejrůznějších průmyslových oblastech. [11]



Obr. 16. Termosnímek

4.3 Diagnostika ložisek vřeten

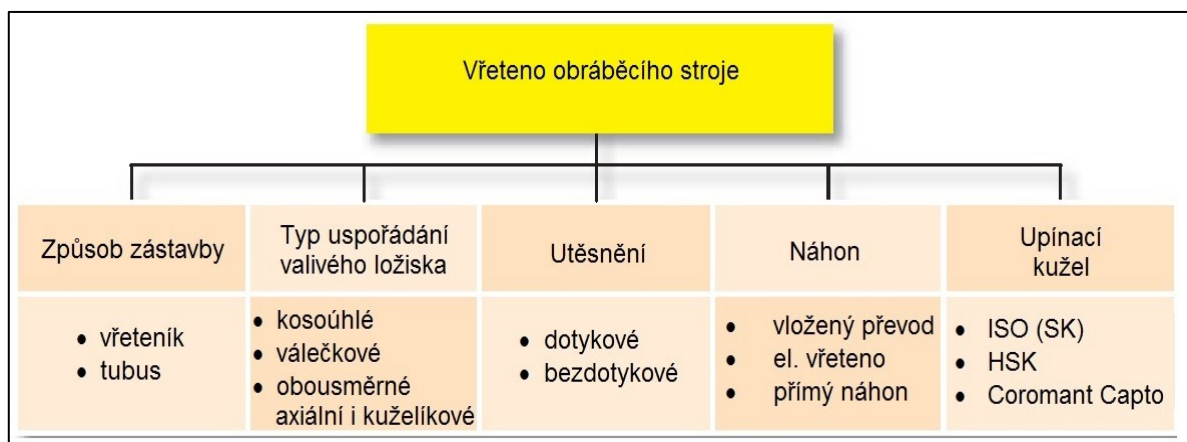
4.3.1 Vřetenová ložiska

Ložisko je nezbytnou součástí téměř všech technických zařízení a umožňuje snížení tření při vzájemném otáčivém nebo posuvném pohybu strojních dílů. Jeho historie sahá již od vynálezu kola. [5]



Obr. 17. Vřetenová ložiska [23]

U CNC obráběcích strojů se používají z 99% valivá ložiska a zbývajících 1% tvoří hydrostatické ložiska. Vřeteno obráběcího stroje je staticky určité a bývá uloženo ve dvou radiálních a v jednom či dvou axiálních ložiscích. V přední části bývá uložení axiálně nehybné oproti zadnímu uložení, které je pohyblivé, aby se vyloučila tepelná roztažnost vřetena za provozu. Vřeteno můžeme rozdělit na několik konstrukčních složek, které jsou uvedeny níže na obr. 18. [5]



Obr. 18. Skladba vřetene CNC stroje [5]

Část vřetena, která vyčnívá ze skříně vřeteníku, se označuje jako přední konec. Do této části se upíná obrobek popřípadě nástroje. Modifikace předního konce vřetena je závislá na druhu stroje a je normalizovaná. Ložisko nacházející se blíž přednímu konci se nazývá přední či taky hlavní. Toto ložisko má podstatný vliv na přesnost provozu vřetena. Existují různé konstrukční řešení vřeten, ale můžeme je rozdělit na dva základní způsoby podle uložení vřetena do nosné struktury (vřeteníku) stroje. Prvním způsobem je uložení vřetena

do tělesa skříňového tvaru. Druhým je, pokud je vřeteno zastavěné do tělesa rotačního tvaru tzv. tubus. [5]



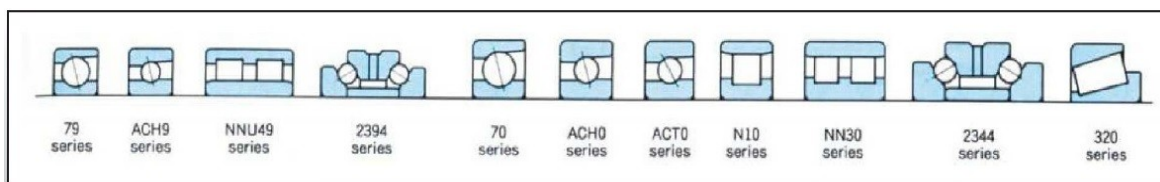
Obr. 19. Uložení ve vřetenové skříni [24]



Obr. 20. Uložení v tubusu [25]

Variant uspořádání ložisek ve vřetenu je hodně, ale můžeme je rozdělit do čtyř základních skupin podle předního radiálního ložiska:

- Uložení s dvouřadým válečkovým ložiskem
- Uložení v ložiskách s kosoúhlým stykem
- Uložení v kosoúhlých ložiscích
- Uložení v ložiskách s kosoúhlým stykem s průvlakovým motorem (elektrovřeteno) [5]



Obr. 21. Druhy valivých ložisek [5]

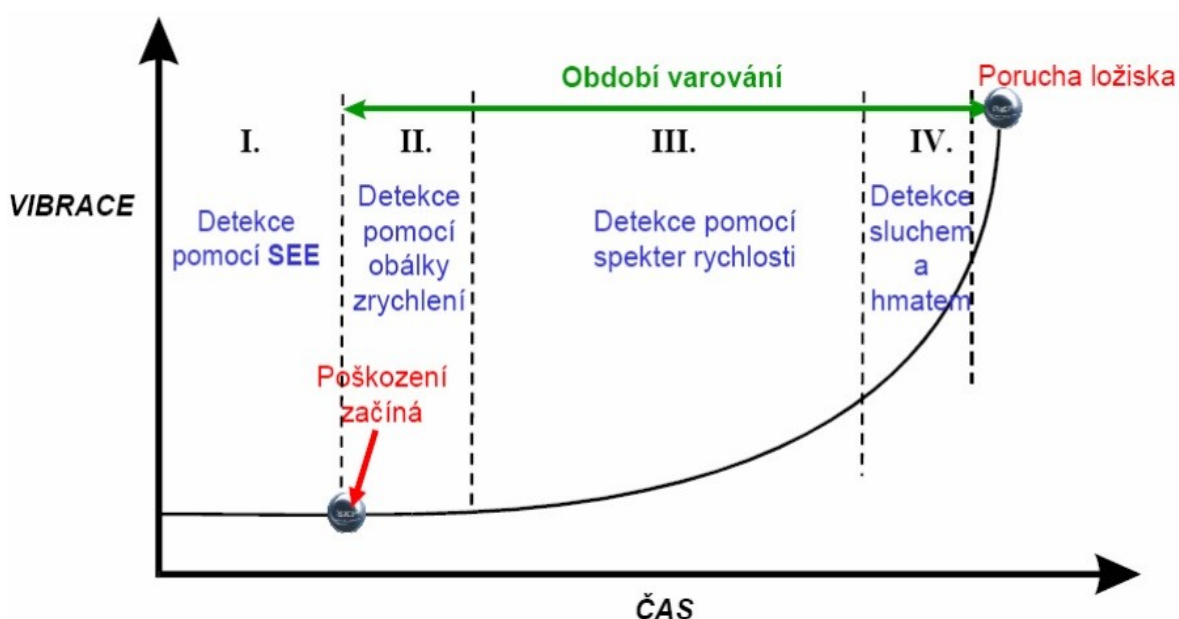
Ložiska mohou být zhotovena jako celoocelová nebo tzv. hybridní s elementy Si_3N_4 (keramika). Výhodou použití ložisek s keramickými elementy je dosažení vyšších otáček, nízká hmotnost oproti celoocelovým ložiskům a menší odstředivé síly. Další výhodou je menší tepelná vodivost, čímž nedochází mezi vnitřním a vnějším kroužkem k přenosu tepla. Navíc keramika není magnetická a je odolná proti korozi. Nevýhodou spočívá v pořizovací ceně. Vývoj těchto ložisek jde pořád dopředu, a to přidáním valivých elementů a vnějších kroužků z vysoce legované nerez oceli. Tyto ložiska nám dovolují dosažení ještě vyšších otáček rychlostí. [5]

Vlastnost	Silikon nitrid Si_3N_4	Ocel
hustota [g.cm^{-3}]	3,19	7,8
teplotní roztažnost [$10^{-6} \cdot \text{C}^{-1}$]	3,2	11
modul pružnosti [kN.mm^{-2}]	315	210
Poissonova konstanta μ	0,26	0,3
tvrdost HV10	1700	700
teplotní vodivost [$\text{W.m}^{-1}.\text{C}^{-1}$]	30 – 40	40 – 50
limitní teplota [$^{\circ}\text{C}$]	1000	300

Obr. 22. Porovnání oceli a keramiky [5]

4.3.2 Poruchy valivých ložisek

K opotřebení valivých ložisek dochází vlivem účinku napětí, teplot a jiných, tedy při vzájemném působení mezi jejich namáhanými částmi. Rozlišujeme poškození klece, kroužků a valivých elementů. V ložiskách dochází vlivem povrchové únavy materiálu ložiskových tělísek k odlupování či vydrolování materiálů povrchové vrstvy, korozi, rýhování, otěrům vlivem větší vůle a prohlubeninám. Ložisko může za provozu selhat převážně z důvodu nesprávné montáže a uložení (nesouosost, nesprávné zacházení, špatně zvolený montážní postup, nevývaha atd.), údržby a prvními podmínkami (koroze, vysoké otáčky, průchodem elektrického proudu, přetěžování, vlhkost, vibrace, nesprávný způsob mazání). Hlavní příčinou poškození klece bývají vibrace, zablokování, nadměrné otáčky či nesouosost. Na výrobu klece se používají měkčí materiály, a proto podléhá únavě celkem rychleji a je jako první součást ovlivněna při nedostatečném mazání. [13]



Obr. 23. Rozvoj poškození valivého ložiska [26]

4.3.3 Fáze poškození ložiska

Řada ložisek, která vydrží první období provozu, pokračují pak bez poruchy nebo s malými defekty. Po čase však počet poruch roste a rychle se rozvíjí až do totální havárie.

- **1. fáze**

Působením povrchových defektů, o velikosti řádově několika mikrometrů se tělesem ložiska šíří akustická emise ve frekvencích až několik MHz. Střední hodnota, efektivní hodnota, směrodatná odchylka aj. se porovnávají v průběhu času ložiska a sledují se trendy určující narůst poškození nebo se použije metoda SEE (Spectral Emitted Energy) patentovaná firmou SKF. [2]

- **2. fáze**

V druhé fázi již dochází k poškození jednotlivých elementů ložiska, ale vibrační spektrální složky, odpovídající nízkým frekvencím, jsou zcela maskovány nízkofrekvenčními spektrálními složkami oblasti středních kmitočtů, způsobující např. zubová frekvence ozubených kol. Proto se diagnostika ložiska v této fázi dělá v rozsahu 20 kHz – 60 kHz. Signál z akcelerometru se nejprve širokopásmově filtruje kvůli odstranění nízkofrekvenčních vibračních složek jiných částí stroje. Dále se pro diagnostické zpracování signálu může použít řada metod, jako jsou: metoda HFD (High Frequency Detection), BCU (Bearing Condition Unit) či SPM (Shock Pulse Method). [2]

- **3. fáze**

V této fázi poškození se už používají klasické akcelerometry. Vlivem styku poškozeného prvku s dalšími prvky dochází k vyvolání mechanických rázů. Těleso ložiska se po rázu rozkmitá na jeho vlastní frekvenci v rozmezí 5 kHz – 20 kHz. Kmity jsou však tlumené a rychle doznívají. Při rostoucím opotřebením ložiska se objevuje ve frekvenčním spektru více harmonických složek ložiskové frekvence a narůstá počet postranních pásem jak kolem ložiskových frekvencí, tak i kolem vlastních frekvencí ložiska. Pro vyhodnocení signálu se používá např. obálková metoda. [2]

- **4. fáze**

Obvykle je v této fázi životnost ložiska u konce. Lze zaregistrovat vibrační spektrální složky přímo v oblasti nízkých frekvencí a nárůst otáčkových spektrálních složek. [2]

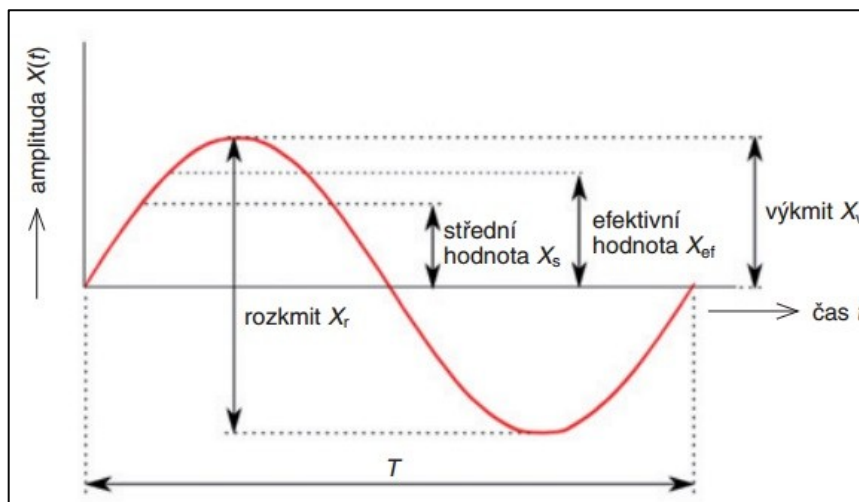
5 ROZBOR VHODNÝCH METOD PRO SLEDOVÁNÍ TECHNICKÉHO STAVU STROJE HELLER H 2000

5.1 VIBRODIAGNOSTIKA

Vibrodiagnostika je jednou z hlavních metod technické diagnostiky a jako diagnostického parametru využívá vibrace, které jsou způsobeny dynamickým namáháním. A právě tento parametr umožňuje získat informace k vyhodnocení aktuálního technického stavu jednotlivých částí stroje. Použitím vibrodiagnostiky předcházíme haváriím strojů a tím i zabránujeme nečekaným prostojům, finančním ztrátám, zlepšujeme spolehlivost zařízení a taky chráníme životy obsluhy.

5.1.1 Základní sledované veličiny

U vibrodiagnostiky se měří několik základních veličin. Nejzákladnější je kmitočet $f[\text{Hz}]$ a je to počet plných cyklů kmitavého pohybu za sekund. Další veličiny jsou maximální rozkmit X_r (Peak-Peak), efektivní hodnota X_{ef} (RMS), výkmit X_v (Peak), střední hodnota X_s (Average). Dále sledujeme tři důležité parametry vibrací, a to: rychlost kmitání, zrychlení kmitání a výchylku. Většinou je vyhodnocujeme z frekvenčních spekter, kde můžeme určit možné vznikající poruchy anebo potíže v měřeném místě. [12]

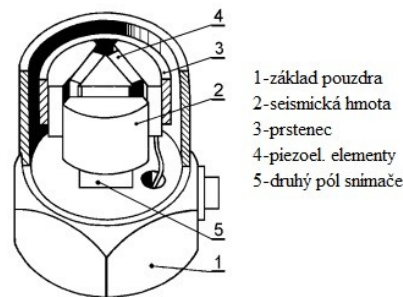


Obr. 24. Parametry časového průběhu kmitavého pohybu [12]

5.1.2 Snímače vibrací

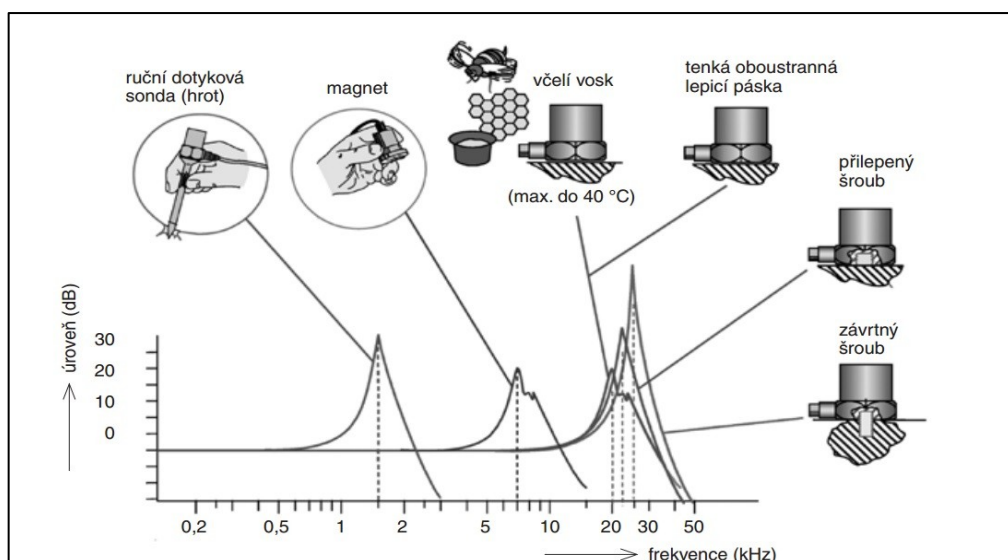
Abychom došli k efektivním výsledkům měření, používá se velké množství druhů snímačů lišící se hlavně podle měřeného parametru (snímač zrychlení) a dále např. podle

rozsahu frekvence, přesností, cenou aj. Nejčastějším užívaným snímačem jsou akcelerometry, díky jednoduché konstrukci a nižší ceně. Změřený parametr (zrychlení) lze dle potřeby převést i na rychlost nebo výchylku vibrací. Nemusíme tedy k měření používat další typy snímačů. Jedná se o seizmické zařízení a jsou tvořeny piezoelektrickým krystalem, ve kterém se vytváří elektrický náboj. Podle směru působení síly existují dva druhy akcelerometru, tlakový a smykový. [12]



Obr. 25. Smykový snímač zrychlení [2]

Pro umístění snímače musíme volit vhodná měřicí místa, aby mělo měření vypovídající výsledky pro zjištění technického stavu zařízení. Snímač nedáváme na znečištěné povrchy a pokud možno na malou vzdálenost od místa vibrací. Měříme a umísťujeme snímač ve 3 směrech (horizontální, vertikální a axiální). Dalším důležitým faktorem pro efektivitu měření je způsob připevnění snímače k měřicímu místu, který především ovlivňuje frekvenční rozsah. Nejmenšího ovlivnění je možné dosáhnout při připevnění snímače pomocí závrtných šroubů, popř. lze ještě vylepšit tenkou vrstvou silikonové, která se dá mezi styčné plochy. [12]



Obr. 26. Vliv uchycení snímače na amplitudovou frekvenční charakteristiku [12]

5.1.3 Vyhodnocení vibrací dle normy ČSN ISO 10816

Tato norma ČSN ISO 10816 se nazývá Vibrace – Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech a byla vydána v roce 1995. Norma popisuje pravidla pro měření a hodnocení vibrací strojů, které se měří na nerotujících částech, především na ložiscích. Měření touto normou je základem pro hodnocení provozních podmínek zařízení a pro zkoušky při přejímce. Vyhodnocení podmínek zařízení je důležité pro bezporuchový a bezpečný provoz, tak i pro plánování oprav a servisování. [14]

Norma se skládá z 6 - ti částí a pro svou práci využiji části normy 1 a 3. První část popisuje všeobecné podmínky a postupy měření vibrací a nachází se v ní dvě kritéria k hodnocení mohutnosti vibrací dle různých tříd strojů. V prvním se zohledňuje rozsah pozorovaných širokopásmových vibrací a v druhém změny velikosti vibrací bez hlediska na to, jestli rostou či klesají. [14]

Třetí část uvádí vyhodnocení vibrací u průmyslových strojů se jmenovitým výkonem nad 15kW a jmenovitými otáčkami mezi $120 \cdot \text{min}^{-1}$ a 15000 min^{-1} při měření in situ.

5.1.4 Vibrodiagnostika valivých ložisek

Během provozního zatížení je důležité, aby se valivé elementy rovnoměrně odvalovaly po oběžných drahách vnějšího a vnitřního kroužku. Poškození ložiska se obvykle děje odlupováním malých částí materiálu v drahách ložiska nebo z valivých elementů. Další poruchou může být vada na kleci, ale k té nejčastěji dochází až následkem jiných vad. Pokud existuje trhlina v těchto místech (valivé elementy nebo v jejich drahách) dochází pak k narušení rovnoměrného pohybu a vzniká dynamický ráz. Důsledkem rázu je impuls, který se šíří ložiskem, domkem nebo dalšími strukturami stroje a za pomoci snímače jsme schopni ho zachytit a vyhodnotit. [15]

Pokud je vibrační signál naměřen, je dalším úkolem vyhodnotit stupeň poškození. K tomu se používá několik zásadních směrů, jak signál vyhodnotit. Základním způsobem měření jsou širokopásmové analýzy signálu, to znamená, že se do cesty signálu vloží širokopásmový filtr propouštějící jen zvolené pásmo frekvencí. Počáteční a koncová frekvence filtru záleží na typu ložiska a otáčkách. Pro standardní měření se nejčastěji používá pásmo v rozsahu 5 – 15 kHz. Potom se pro přefiltrovaný signál vyhodnotí efektivní (RMS) a špičková (PEAK) hodnota signálu. [15]

Pro zpracování a hodnocení zjištěného vibračního signálu u ložisek vzniklo ve vibrodiagnostice hodně metod. Vibrační signál lze analyzovat buď v časové oblasti (time domain analysis) či ve frekvenční oblasti (frequency domain analysis). Jednotlivé metody lze kombinovat. Každá metoda má své výhody, ale žádná z nich není univerzální pro naměření všech veličin.

- **Vyhodnocování časového průběhu**

Hodnoty parametrů kmitavého pohybu se obecně mění v čase. Analýza je založena na vyhodnocení naměřených dat časových průběhů signálů charakteristických veličin, jako je výchylka, zrychlení a rychlost. Je vhodná, pokud existuje jediný či alespoň dominantní zdroj vibrací jinak se diagnostický signál ztrácí v šumu a lokalizace místa vibrací je pak velmi obtížná. [12]

Např. při poruše ložisko vytváří specifický tvar časového signálu, ze kterého je pak možno analyzovat poruchu ložiska.

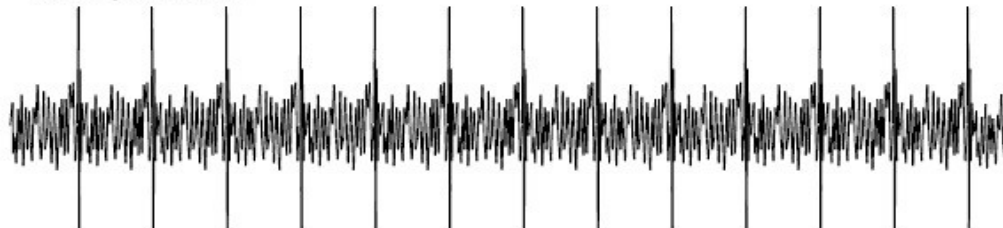
Bezvadné ložisko



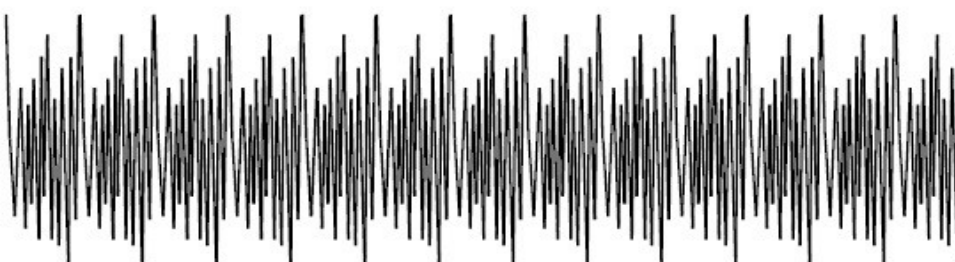
První známky poškození



Vážné poškození



Nepřípustný stav



Obr. 27. Časový signál v průběhu poškození ložiska [15]

- **Celkové kmitání**

Vyhodnocení za pomoci parametru celkového kmitání představuje jednodušší a rychlejší variantu vibrodiagnostiky, která je bezprostředně spojená s údržbou a diagnostikou pochůzkovou. Základem je posouzení celkového kmitání, které je měřítkem celkové energie kmitavého pohybu tělesa na všech jeho frekvencích vyskytujících se v daném měřicím bodě. Výhodou je rychlost vyhodnocení a nízké pořizovací a provozní náklady. Nevýhoda spočívá ve ztrátě signálu s malou amplitudou ve vibračním šumu signálu a není možné pak lokalizovat příčinu závady. Jako příklad je možné říci doporučení dle normy ISO 10816 pro zhodnocení efektivní rychlosti kmitů v oblasti 10 Hz – 1 kHz.(viz Tab. 2) [12]

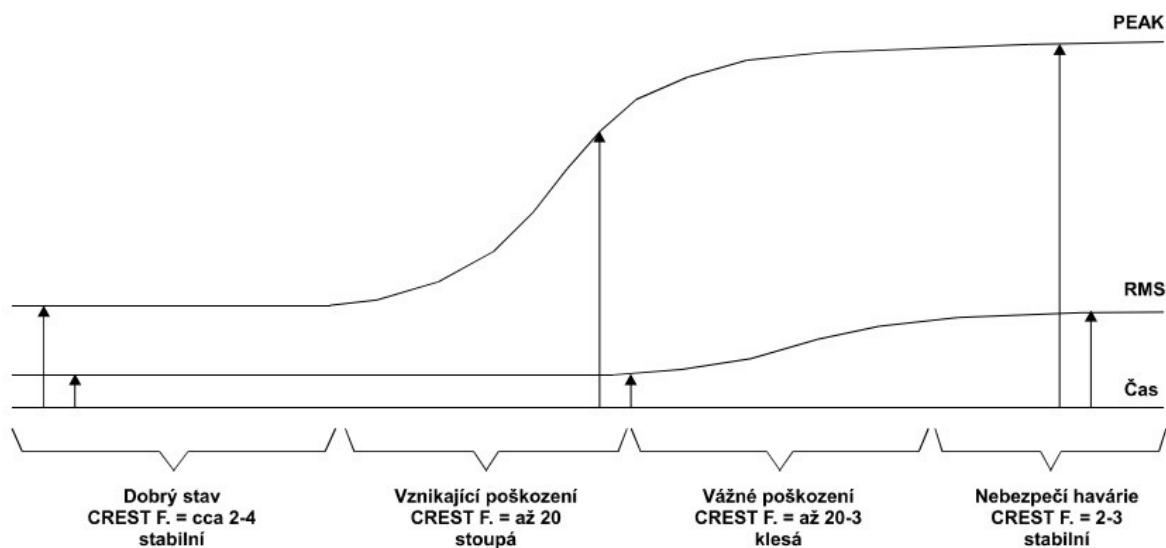
Tab. 2. Orientační meze vibrací stroje [12]

Mohutnost (rychlost) kmitání v_{ef} (mm/s)	Kategorie A (do 15 kW)	Kategorie M (15 až 75 kW)	Kategorie G (nad 75 kW)
45	nepřípustné kmitání	nepřípustné kmitání	nepřípustné kmitání
28			
18			
11,2			
7,1			
4,5	kmitání na mezi přípustnosti	kmitání na mezi přípustnosti	kmitání na mezi přípustnosti
2,8			
1,8		přípustné kmitání	přípustné kmitání
1,12	přípustné kmitání		
0,71	přípustné kmitání	malé kmitání	malé kmitání
0,45			
0,28			
0,18			

- **Crest faktor (Činitel výkmitu)**

Patří mezi základní metody pro hodnocení stavu valivých ložisek. Metoda spočívá v měření efektivní a špičkové hodnoty vibrací a ve výpočtu jejich poměru. Činitel výkmitu K_v je poměr k efektivní hodnotě amplitudy, tedy X_v/X_{ef} . Opakující se vibrační ráz lze s postačující rozlišitelností vyhodnotit z výkmitu, ale je neměřitelný jako efektivní hodnota v daném kmitočtovém rozsahu. Metoda je levná a rychlá, ale nevhodná při parazitních rázech. Crest faktor je velice citlivým parametrem při vzniku mechanického poškození ložiska, které pozná již ve velmi raném stádiu. Je vhodný i pro zjištění problému s mazáním. Nevýhoda metody spočívá v tom, že při velkém poškození ložiska se hodnota

Crest faktoru velmi podobá ložisku bez závad. Pokud je hodnota překročena, dochází ke vzniku poškození. Používá se jako metoda doplňková. [15]



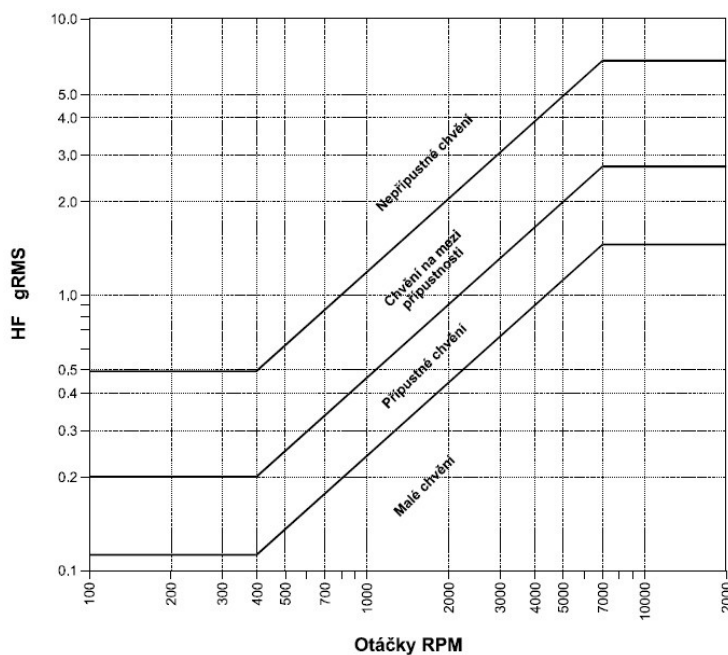
Obr. 28. Časový průběh Crest faktoru [15]

- **Kurtosis faktor**

Tato metoda představuje vůči druhým metodám analýzy ložisek statický přístup. Základem je hypotéza, že náhodný signál má Gaussovo rozdělení. K určení, má-li signál normální Gaussovo rozdělení, lze použít výpočet dvou parametrů, které jsou špičatost a šikmost signálu. Pro vibrodiagnostiku je důležitější špičatost. Kurtosis faktor je v podstatě jen vyhodnocením špičatosti signálu. Roste-li jeho hodnota, roste i poškození ložiska. Hodnoty faktoru pro ložisko bez závad jsou v rozsahu 3÷4. Při překonání tohoto rozsahu se začínají projevovat první známky závad ložiska. Tato metoda se moc v praxi neujala a používá se více ve spojení s druhými metodami např. high-frequency resonance technique (HFRT). [15]

- **High frequency emission – HF**

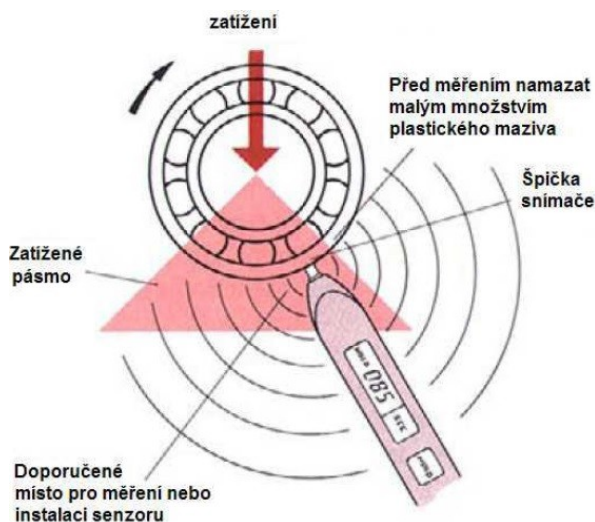
Metoda HF je základní metodou pro hodnocení valivých ložisek a vychází ze znalosti, že při vyšších frekvencích stoupá energie vibrací společně se vzrůstem poškození ložiska. Emitovaná vysokofrekvenční energie je vyhodnocená jako efektivní hodnota vyjádřená v konstantě g ($9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$). Výsledná veličina g_{RMS} je značně citlivá na závady mazání a je s ní možnost zjistit nedostatečné mazání a obsah nečistot v mazivu. K vyhodnocení stavu ložiska se používá následující graf. [15]



Obr. 29. Závislost hodnoty g_{RMS} na otáčkách [15]

- **Spectral emission energy (SEE)**

Metoda SEE se odlišuje od ostatních metod kombinací vysokofrekvenční akustiky v rozmezí 250 kHz – 350 kHz s obálkovou metodou. Pomocí metody SEE lze detekovat i styk kov – na - kov při závadě mazacího filmu. Na základě těchto zjištěných výsledků je možno navrhnout změny v plánu mazání ložiska. K měření se používají speciální snímače kombinující v sobě širokopásmový piezoelektrický akcelerometr a SEE snímač. Metoda není moc citlivá na připevnění snímačů, ale přesto je důležité dodržet pár zásad. Snímač je třeba připevnit kolmo k povrchu tělesa, přitlačovat silou 5N – 20N a je důležité, aby se nacházel v tzv. zatíženém pásmu. [13]



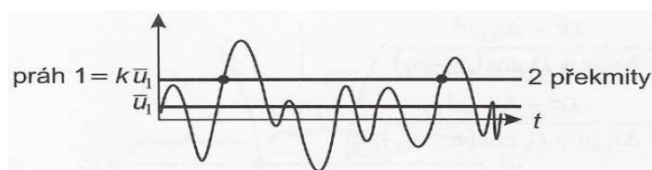
Obr. 30. Umístění snímače SEE [13]

- **Shock Pulse Method (SPM)**

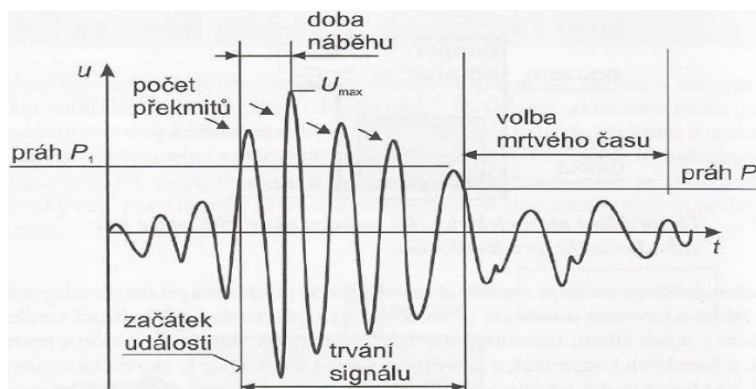
Metodou SPM je zpracován signál používající k měření kovový náraz a určitý hluk. Ve srovnání s jinými vysokofrekvenčními měřeními je tato metoda mnohem přesnější. SPM se hojně používá po celém světě jako impulz pro včasnou údržbu. Nejčastěji se metodou měří valivé elementy ložiska, ale má i více dalších využití jako např. pro vyhodnocení stavu převodovek, kompresorů a jiné. Základem metody SPM je pozorování dvou různých procesů nastávající při styku kov – na – kov. Jako prvotní vzniká při nárazu tzv. rázová vlna o velké frekvenci a malé amplitudě. A dále vzniká vibrační fáze. Frekvence vibrací je závislá na tvaru, tuhosti materiálu a hmotnosti. Pro měření se využívají speciální akcelerometry (tandem piezoakcelerometry), které v sobě spojují výhody tlakových a smykových akcelerometrů. Výhodami snímačů jsou zejména nízká citlivost na krátkodobé změny teploty, nízký práh napětíové citlivosti, atd. Během měření metodou SPM je nutné brát na zřetel, že se jedná o kombinaci hustoty rázu kov – na – kov a výchylky. Přístroj je vybaven i snímačem otáček. [16]

- **Akustická emise**

Touto metodou lze diagnostikovat prvotní náznaky vznikající závady a používá se při zjišťování technického stavu rotačních zařízení, při lokalizaci a detekci vznikajících mikrotrhlin a jejich postupu apod. je schopna detekovat i hodně malé energetické ztrátové procesy, kterými mohou být tření, kavitace a styk dílů valivých ložisek. Akustická metoda snímá energie vln, které jsou emitovány nevratnými degradačními a diskolačními procesy v makrostruktuře a mikrostruktuře materiálu. Protože je energie vln hodně malá, používají se pro měření piezoelektrické snímače, které v sobě mají zabudovaný předzesilovač. Tyto senzory dokážou zjistit i diskolace v řádech 10^{-14} m. Aby nedocházelo k ztrátám energie z povrchu tělesa při přenosu do senzoru, je důležité použít vazebné prostředí (olej, speciální suspenze). Nevýhoda metody spočívá v tom, že přesně neznáme příčinu vzniku akustické vlny, neboť energie, která se uvolňuje, je ovlivňována množstvím faktorů, jako jsou povrch a tvar tělesa aj. Akustickou emisi dělíme na spojitou a nespojitou (impulzivní). [2]



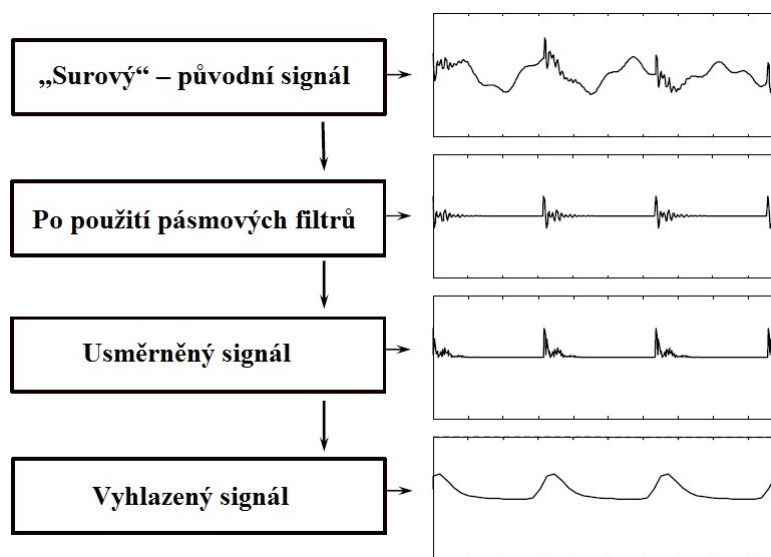
Obr. 31. Signál spojitě emise [2]



Obr. 32. Signál nespojité emise [2]

- **Obálková metoda**

Princip metody spočívá v měření rázových impulsů, které vznikají při poškození oběžných drah, po kterých se odvalují valivé elementy ložiska. Měřený signál jde z akcelerometru přes vysokofrekvenční filtr (odfiltruje nízkofrekvenční kmity, které jsou způsobeny nesouosostí, montážními vřely apod.) a přes obálkový detektor, ve kterém se signál vyhladí. [15]



Obr. 33. Zpracování signálu z akcelerometru [26]

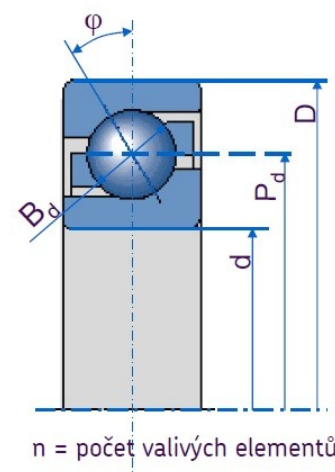
Při užití obálkové analýzy je možno nejen detekovat poruchu ložiska, ale ve spojení s FFT (Fast Fourier Transform) také zjistit jaká část ložiska je poškozená. Z důvodu, že každý komponent ložiska má odlišnou relativní rychlost vzhledem k hřídeli, lze pak určit frekvence, na kterých se ukazují tyto závady. Proto rozeznáváme vnější a vnitřní kroužek, valivé elementy a ložiskovou klec. Měření dovoluje o mnoho jasnější diagnostiku ložisek, zejména když jsou data měřená v zatížené oblasti ložiska, případně na okraji zatížených

oblastí. Pro stojící vnější kroužek platí následující vzorce. Při rotujícím vnějším kroužku by se zaměnilo znaménko kromě vzorce pro valivá tělíska. [15]

$$BPFI = \frac{n}{2} \cdot \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cos \varphi \right) \cdot rpm$$

$$BPFO = \frac{n}{2} \cdot \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \varphi \right) \cdot rpm = n \cdot FTF$$

$$BSF = \frac{P_d}{2B_d} \cdot \left[1 - \left(\frac{B_d}{P_d} \cos \varphi \right)^2 \right] \cdot rpm$$

$$FTF = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \varphi \right) \cdot rpm$$


$n = \text{počet valivých elementů}$

BPFI – vnitřní kroužek, BPFO – vnější kroužek, BSF – valivá tělíska, FTF – klec

Obr. 34. Poruchové frekvence valivého ložiska [26]

5.2 Tribodiagnostika

Tribodiagnostika je efektivním a objektivním prostředkem pro sledování procesů opotřebení v systémech strojů. Hlavním úkolem je detekovat a závčas upozornit na možnost závady na stroji a tím zabránit neplánovaným výpadkům strojů. Tuto údržbu, jejímž základem je tribodiagnostika, nazýváme tribologická péče (triboúdržba). Dle odběru vzorků maziva z kontrolovaných strojů, či jejich částí a následujícího rozboru, se nejen dá stanovit stav maziva (např. u oleje jeho fáze degradace, nečistoty, viskozita), ale i zjistit nejvhodnější moment výměny maziva, a taky je především možnost určit a zhodnotit technický stav celého stroje. U obráběcích strojů se především dohlíží na kvalitu oleje a čistotu chladicí emulze a dělají se zkoušky kinematické viskozity, obsah vody, celkový obsah nečistot atd. Tato údržba je celkem moderní a v dnešní době ji hodně firem používá hlavně u strojů, u kterých by neočekávaná porucha přinesla obrovské výdaje na opravu anebo obrovské ztráty vlivem náhlých odstávek výroby. Můžeme ji zařadit do prediktivní údržby, která má ve snaze předcházet závadám.

Tribodiagnostika plní tři hlavní úkoly:

- Sledování stavu opotřebení strojního zařízení
- Stanovení degradace samotného maziva

- Nejlepší stanovení období pro výměnu jednotlivých maziv (mazací plány) [4]

Automatizovanými metodami dosáhneme přesných výsledků, které nemůže ovlivnit lidský faktor a navíc se zkracuje doba průběhu jednotlivých analýz.

Metody sledování stavu opotřebení strojních zařízení

– Metody pro stanovení koncentrace otěrových kovů

- atomová spektrofotometrie
- atomová absorpční spektrofotometrie
- atomová emisní spektrofotometrie
- voltmetrie a polarografie

– Metody pro hodnocení morfologie a distribučních rozdělení částic kovů

- částicová analýza (ferografie) s vyhodnocením
 - feroskopickým (morfologie a chemické složení)
 - ferodenzimetrickým (distribuce vzhledem k velikosti)

– Metody sledování degradace samotného maziva

Hodnocení fyzikálně chemických parametrů maziva.

- kinematická viskozita
- bod vzplanutí
- číslo celkové kyselosti (TAN) a alkality (TBN)
- obsah vody
- kapková zkouška [4]

Jak je vidět tak metod na zhodnocení stavu opotřebení strojního zařízení a maziva je velké množství. V následujících kapitolách se postupně seznámíme s nejvíce prováděnými metodami, které se při triboúdržbě používají. Jde zvláště o infračervenou analýzu oleje, analýzu prvků otěrových kovů, důležitá je čistota oleje (turbínové a hydraulické) kontrolovaná obsahem nečistot, viskozita, číslo celkové kyselosti TAN, číslo celkové alkality TBN. [4]

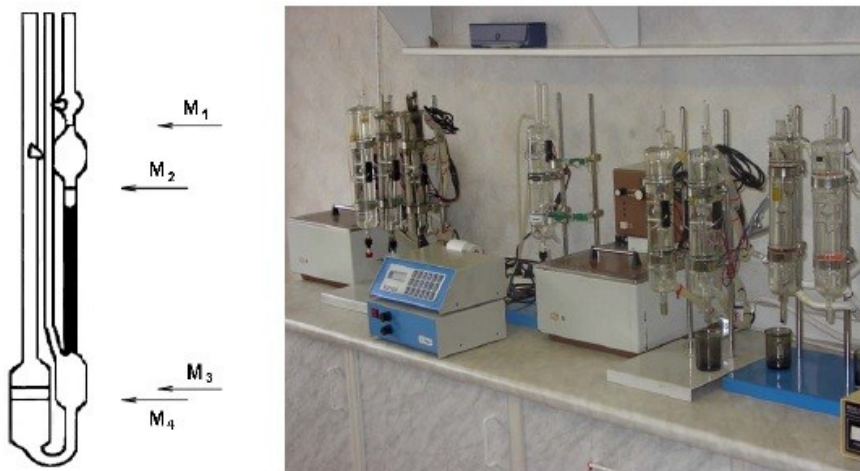
5.2.1 Měření viskozity

Viskozita je veličina, která charakterizuje vnitřní tření, je to tedy odpor tekutiny k tečení. Pomocí této veličiny hodnotíme okamžitý stav oleje a možnosti jeho dalšího používání. Je to základní vlastnost každého oleje a z tohoto důvodu je jedním z hlavních kontrolovaných a základních prvků pro třídění a výběr oleje. Nejčastěji se měří kinematická viskozita při teplotách 40°C nebo 100°C. Jednotkou je dle soustavy SI $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, ale v praxi jsou více využívány $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, které jsou rovny centistokes – cSt (dříve používané jednotce pro viskozitu). Průmyslové oleje se třídí dle viskózních tříd ISO VG podle své viskozity. Postup měření se provádí dle normy ČSN EN ISO 3104. K měření se používá různé typy viskozimetrů (Cannon-Fenske, Pinkevič, Ubbelohde apod.), které jsou kapilárního typu. Následně se pak kinematická viskozita vypočte ze vzorce: [4]

$$\nu = c \cdot \tau \quad [\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1)$$

kde: c konstanta viskozimetru

τ aritmetický průměr doby průtoku viskozimetrem



Obr. 35. Ubbelohde viskozimetr [30]

Změna viskozity:

Během provozu stroje se čeká, že viskozita se postupem doby u kapaliny zvýší, proto se pokles viskozity bere za závažnější než její zvýšení. V praxi se uvádí dovolená tolerance oleje $\pm 15\%$.

Zvýšení viskozity**Příčiny:**

Je způsobeno meziprodukty oxidační povahy nebo může docházet k zvyšování následkem zahušťování oleje nečistotami.

Důsledek:

Vyšší spotřeba energie

Pokles viskozit**Příčiny:**

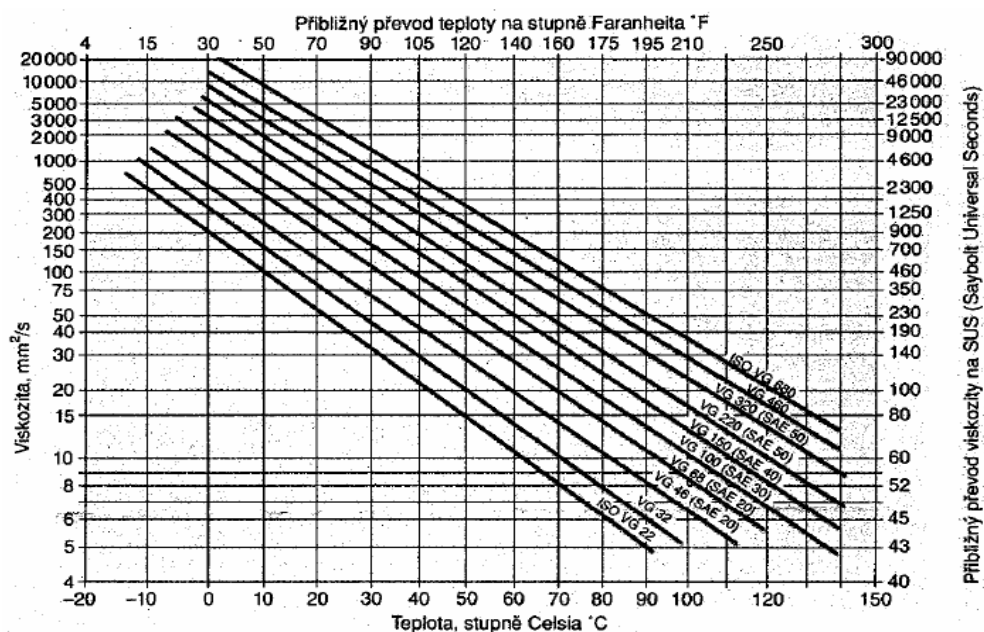
Je způsobeno především tepelnou a mechanickou degradací aditiv.

Důsledek:

Při poklesu viskozity dochází k meznímu až suchému tření, které zapříčiní nadměrné opotřebení, což může až vést k zadření třecích ploch.

Vliv teploty na viskozitu

Kinematická viskozita se u tekutin s teplotou snižuje. Vliv teploty na její změnu popisuje tzv. viskozitní index VI. Je to číslo, které porovnává viskozitu zkoumaného oleje s dvěma standardními oleji, které mají při teplotě 98,9°C totožnou viskozitu jako měřený olej. Postup výpočtu se provádí dle ČSN ISO 2909. VI je bezrozměrné číslo. U průmyslových olejů je charakteristická závislost jejich viskozity na teplotě. **Změna teploty o 1°C znamená změnu viskozity až o 5 %.**[4]



Obr 36. Závislost viskozity na teplotě [4]

5.2.2 Obsah vody

Voda je v oleji nežádoucím prvkem a spolu s vlhkostí znehodnocují kvalitu oleje. Výskytu stopového množství kondenzující vody nelze zabránit a často bývá v oleji přítomna. Všeobecně je v mazacím oleji povoleno 0,2% hmotnostního obsahu vody. Hodnocení obsahu vody se provádí ve dvou etapách. Nejprve se stanoví přítomnost vody v oleji některým z kvalitativních testů, a potom kvantitativním testem se určí obsah vody. Nejčastěji je to procentuální podíl vztažen k hmotnosti oleje. [4]

Metody stanovení obsahu vody:

– **Kvalitativní testy:** [4]

• **Vizuální zkouška**

Základem je vizuální posouzení dokonale protřepaného vzorku. Je-li v oleji obsažena voda (min. 0,025%) dojde k zakalení oleje. Vzorek, který vodu neobsahuje, zůstane čirý. Metoda je vhodná k orientačnímu stanovení vody u olejů přímo za provozu stroje a taky záleží na dostatečných zkušenostech pracovníka a jeho posouzení.

• **Prskací zkouška**

Prskací zkouška je hodně známá jako zkouška žehličkou. Ze vzorku odebereme malé množství oleje a na vyhřátou plochu (asi 180 °C) se kápnou 2 ÷ 3 kapky oleje. Pokud není v oleji stopa vody pak povrch skvrny je stejnorodý bez vzniku bublinek. Objeví-li se mikrobublinky, nachází se v oleji voda, a to minimálně 0,02 %. K provedení prskací zkoušky stačí použít obyčejnou rozžhavenou žehličku. Zkouška je jednoduchá, levná, poměrně spolehlivá a vhodná pro provozní podmínky.

– **Kvantitativní testy** [4]

• **Coulometrická metoda**

Je to přesná metoda k určení stopového množství vody v oleji např. v mazacím. Postup je definován dle ČSN 65 0330. Princip zkoušky je v reakci jódu s vodou ve zkušebním vzorku oleje. Obsah vody se uvádí v $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ nebo ppm.

• **Destilací**

Zkouška je vhodná pro kvantitativní stanovení množství vody od 0,02 %. Je méně citlivá a přesnější než Coulometrická metoda. Postup zkoušky je definován dle ČSN 65 6062.



Obr. 37. Coulometr WTK [3]

Důvod vzniku vody: [4]

- kondenzace vodních pár
- špatně vyschlé vzorkovnice
- nevhodné skladování oleje

Obsah vody ve stroji způsobuje: [4]

- korozi součástí
- vypadávaní aditiv
- pění oleje
- tvorba emulze
- zvyšování viskozity
- snižování oxidační stability oleje
- tvorbu kalů

5.2.3 Číslo alkality a kyselosti

Číslo kyselosti je jediným ukazatelem stárnutí průmyslových olejů, a proto je potřeba jeho stanovení věnovat náležitou pozornost. Uvádí podíl chemických látek v oleji. V průběhu degradace oleje za provozu vznikají organické kyseliny, které mohou působit korozivně.

Větví se na:

- Číslo celkové alkality (obsah látek zásadité povahy)
- Číslo celkové kyselosti (nárůst látek kyselého charakteru)

Číslo celkové kyselosti – TAN (Total Acid Number)

Je definováno jako množství KOH v mg, spotřebované na neutralizaci kyselých složek v 1 g analyzovaného oleje. Číslo udává informace o nárůstu kyselých látek, které vznikají zejména v důsledku termooxidační reakce. Ukazatel má nenulovou hodnotu už u čistého oleje vzhledem k přítomnosti přísad kyselého charakteru a během provozu roste. Postup zkoušky je normován dle ČSN ISO 6618. Pro stanovení čísla celkové kyselosti se využívá potenciometrické titrace s přesností výsledku $\pm 10\%$ stanovení hodnoty a jednotkou TAN jsou miligramy hydroxidu draselného na gram - $\text{mg} \cdot \text{KOH} \cdot \text{g}^{-1}$. Je možno stanovit také číslo kyselosti silných kyselin SAN. [4]

Číslo celkové alkality - TBN (Total Base Number)

Číslo udává množství kyseliny chloristé vyjádřené počtem mg hydroxidu draselného, který je potřeba k neutralizaci všech zásaditých složek v 1 g analyzovaného oleje. Pro stanovení se využívá jako u čísla kyselosti potenciometrická titrace dle ČSN ISO 3771 – titrace kyselinou chloristou. Jednotkou TBN jsou opět $\text{mg} \cdot \text{KOH} \cdot \text{g}^{-1}$. [4]



Obr. 40. Automatický titrátor k stanovení TAN a TBN [29]

Změna bodu kyselosti

Bod kyselosti v průběhu degradace oleje by měl pozvolna růst a až dosáhne hodnoty, tzn. $1,5 \text{ mg} \cdot \text{KOH} \cdot \text{g}^{-1}$, mělo by dojít k výměně oleje. Nárůst by neměl v době 3 měsíců překročit $0,2 \text{ mg} \cdot \text{KOH} \cdot \text{g}^{-1}$. Příčina změny je, že bod roste vlivem reakce vzdušného kyslíku do oleje, kterou urychluje teplota oleje, ale taky dalšími vlivy jiných chemických reakcí. Degradací oleje vznikají polární látky, které způsobují přilepování nečistot

a kovových látek. Při překročení optimálního čísla kyselosti dochází ke zvýšenému opotřebení, k zalepování rozvodů a regulace a při výměně oleje tyto nečistoty zůstávají v mazacím systému, které způsobují zpomalení reakce řídicích prvků a poruchy se nadále opakují. Kyselé složky také mohou korozivně napadat ložiskové materiály. [4]

5.2.4 Kód čistoty

Rozboru obsahu nečistot se využívá především u hydraulických a kompresorových olejů. Nečistoty jsou jednou z hlavních příčin závad a odstávek strojů. Z tohoto důvodu provádíme rozборы, aby bylo jasné do jaké míry, a popřípadě jakými částicemi je olej znečištěn. Pro určení znečištění se nejvíce používají automatické čítače částic. Čítače dovedou rozdělit částice dle různých norem. Nejčastěji se používá třídění dle ISO 4406 a NAS 1638 (nověji SAE AS 4059). Kód ISO se udává ve tvaru X/Y/Z a hodnotí částice ve třech stupních velikosti. Číslo X znamená částice větší než 4 μm , číslo Y částice větší než 6 μm a číslo Z částice větší než 14 μm , které se nachází v 1 ml oleje. Anebo se používá značení ve tvaru X/Y, kde číslo X udává počet zjištěných částic $\geq 5 \mu\text{m}$ a číslo Y udává počet zjištěných částic $\geq 15 \mu\text{m}$. této způsob se používá v praxi více. Průběh stanovení kódu čistoty líčí norma ČSN ISO 4406.

K měření používáme dva principy přístrojů. Přístroj využívající bílé světlo a přístroje s laserem. Více využívané jsou laserové přístroje z důvodu větší přesnosti a citlivosti. Např. přístroj PODS HIAC s laserovým snímačem. Během provozu stroje se doporučuje dodržovat třídu čistoty dle NAS 1638 do hodnoty 9, především u hydraulických, turbínových a kompresorových olejů. Pokud se hodnota třídy nečistoty dostane nad tuto hranici, je nutné olej přefiltrací a za pomoci prvkové analýzy, popřípadě FTIR překontrolovat a hledat možnou příčinu, jak se nečistoty dostaly do oleje. **Snížením kódu čistoty se značně prodlouží životnost mechanismu.** [17]

Charakterizace částic

Částice můžeme rozdělit podle tvaru a původu vzniku:

- Abrazivní
- Adhezní
- Únavové
- Nekovové
- Vlákna

Je nutné zdůraznit trendovou analýzu, kterou lze zamezit většímu obsahu nečistot v oleji, protože dle jednoho rozboru toho nelze moc hodnotit. Je také nutné je hodnotit v souvislosti s prvkovou analýzou, FTIR analýzou, popřípadě kódem čistoty (počet a velikost částic). [17]



Obr. 41. Přístroj PODS HIAC [3]

5.2.5 Částicová analýza – ferografie

Spočívající v separaci magnetických a paramagnetických otěrových částic ze vzorku oleje na skleněné (plastové) transparentní podložce nebo v precipitační trubici, které jsou umístěné v silném magnetickém poli. Umožňuje indikovat a lokalizovat poruchu objektu ještě před vnějšími projevy poruchy a také poznat kromě koncentrace a počtu částic i tvar a velikost těchto částic. [4]

Vychází ze tří základních poznatků:

- každá jednotka produkuje při daném režimu otěrové částice zcela určitého tvaru a velikosti, dochází k markantním změnám v množství, tvaru a velikosti částic,
- se stoupající intenzitou opotřebení stroje dochází ke změnám:
 - roste velikost otěrových částic, přesněji objem velkých L-částic s rozměrem 15 μm a mění se podstatně i poměr mezi těmito částicemi a částicemi menšími než 15 μm , tzv. S-částicemi
 - mění se morfologie částic a objevují se částice charakterizující druh opotřebení a může se měnit chemické složení částic [4]

- morfologie, velikost a počet částic se při změně režimu mění s dostatečně velkým předstihem před měřitelnými projevy opotřebení

Vyhodnocení ferogramu:

- feroskopicky (určí se morfologie, chemické složení)
- ferodenzimetricky (určí se distribuce vzhledem k velikosti) [4]

Feroskopické vyhodnocení ferogramu:

- mikroskopicky při bichromatickém osvětlení
- morfologie částic je závislá na druhu tření a podává informace o povrchových vrstvách částí strojního zařízení a druhu opotřebení:
 - adhezivní otěr - šupinky vločkovitého tvaru, tzv. jednorozměrné částice
 - abrazivní otěr - dlouhý lineární rozměr částic a velmi malá tloušťka, délka desítky až stovky, tloušťka desetiny mikrometrů
 - únavové opotřebení - částice mají typický trojrozměrný tvar - typické pro převodové systémy. [4]



Obr. 42. Zařízení pro ferrografii [27]

5.2.6 Hodnocení chladících a mazacích kapalin

V praxi jsou u obráběcích strojů používány jak mazací, tak i chladicí kapaliny v jedné tekutině, která se nazývá řezná emulze. Tato kapalina slouží především k odvodu tepla a třísek při obrábění. Velmi důležitým parametrem řezných emulzí je hodnota pH. Kontrola se provádí pH metrem, popřípadě pH papírky. Dalším důležitým opatřením je zjištění cizích látek (olej, třísky, otěry apod.). Obsah cizích látek v emulzi podporuje její napadání bakteriemi a nepříznivě ovlivňuje stabilitu emulze. Nečistoty se kontrolují metodami, které byly popsány výše. Z důvodu nebezpečí odstávky strojů se provádí filtrování kapaliny filtračním zařízením buď přímo za provozu stroje, nebo se provádí v pravidelných intervalech. Dále se sleduje obsah dusitanů, mazivost, korozní odolnost, zdravotní nezávadnost, pěnivost, ekologičnost atd.



Obr. 43. Filtrační zařízení [3]

5.2.7 Infračervená spektrometrie (FTIR)

Infračervená spektrografie s Fourieovou transformací patří mezi nejvýznamnější metody pro hodnocení maziva. Nejen že se používá k chemické analýze maziva za záměrem zjištění chemických změn v mazivu nebo průniku znečišťujících látek, ale taky se využívá FTIR ke stanovení fyzikálně chemických charakteristik (TBN, TAN). Složky v oleji se mohou dělit na základní a přísady. Infračervenou spektrometrií tedy lze určit ve většině případů o jaký typ oleje a druhy přísady se jedná. Při provádění analýzy se vzorek dávkuje do kyvety o určité tloušťce nebo se nanáší na ATR krystaly. Následně se vzorek ozáří

infračerveným zářením (laserem). Každá funkční skupina, jež se v oleji nachází, pohlcuje elektromagnetické záření při různých vlnových délkách. Výstupem jsou infračervená spektra, která jsou hotová během několika sekund. Pro určení stavu oleje se nejvíce vyžívá pozorování nárůstu pásů oxidace, nitrace i přítomnost nečistot v oleji (voda, palivo, glykol).

Pro hodnocení měření se používá velké množství softwarových programů, které po vytvoření spektra a jeho srovnáním se spektrem nového oleje, vygeneruje tabulku s výsledky v jednotkách $\text{A} \cdot \text{cm}^{-1}$. Jedná se o hodnoty, které program spočítá a pak na základě měření hodnotí, je-li možno ještě dále olej používat. [3]



Obr. 44. Infračervený spektrometr (FTIR) [28]

6 NÁVRH A REALIZACE MĚŘENÍ

Měření je jedna z nejdůležitějších činností v údržbě strojů, která nám dává aktuální informace o technickém stavu stroje. Před každým měřením si musíme stanovit, co se vlastně bude na stroji měřit, jestli kompletně celý či jen jeho části a podle toho zvolit vhodnou metodu měření (např. vibrodiagnostika) a co nejvhodněji si určit místo pro sběr dat. Dále musíme vybrat vhodný přístroj, který bude schopen naměřit požadované parametry. Dle vybraného přístroje si sestavíme postup měření, aby nedocházelo ke zdržování výroby. A v neposlední řadě, pokud je potřeba, mít příslušný software pro vyhodnocení měření na počítači. Software se musí dát propojit s měřicím přístrojem bez problému, jinak je zbytečný. Na konec se dle vyhodnocených hodnot měření stanoví doporučení pro provoz stroje. V následujících kapitolách budou popsány části návrhu a realizace mého měření u strojů Heller H 2000. Pro vyhodnocení svých naměřených dat jsem použil software DDS 2011 od firmy Adash spol. s.r.o.

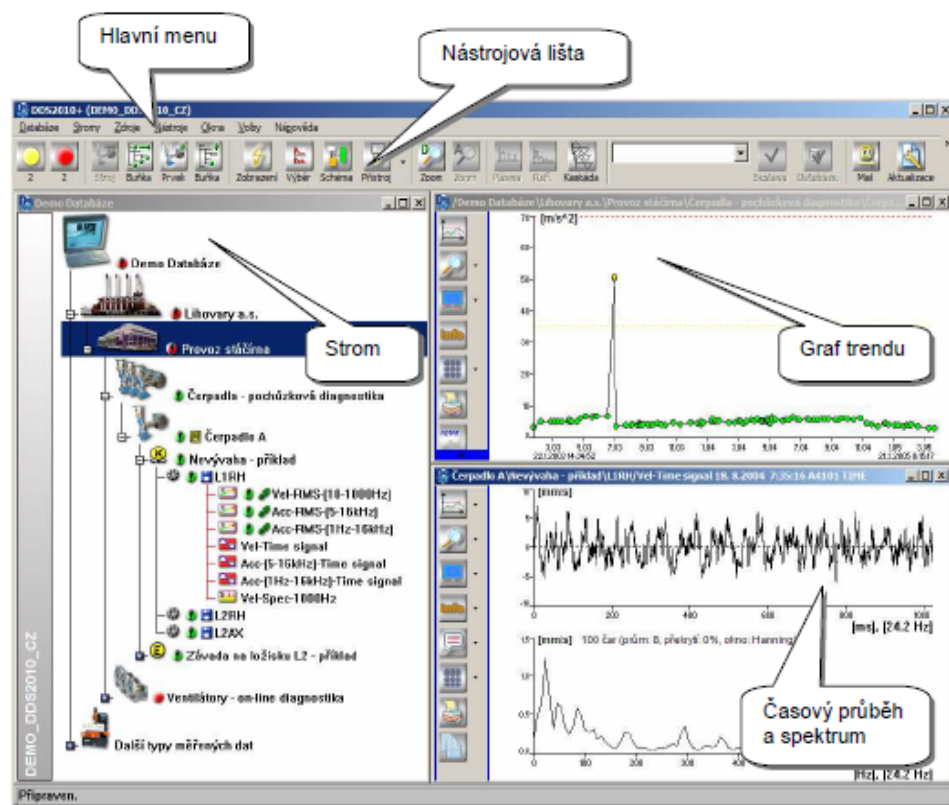
6.1 Software DDS 2011

Softwarový systém DDS 2011 firmy Adash spol. s.r.o. představuje velmi výkonný nástroj pro sběr, archivaci a vyhodnocení dat z oblasti vibrační a technické diagnostiky strojů. Umožňuje připojení off-line i on-line měřicích a monitorovacích systémů a podporuje pochůzková měření. Program může načítat data z mnoha měřicích zařízení, každé zařízení vyžaduje programové rozhraní (interface). Ovládání programu je jednoduché a přehledné. [18]

Jedná se o otevřený systém umožňující příjem a odesílání informací do jiných informačních systémů. Systém DDS 2011 splňuje veškeré požadavky pro síťový provoz. Několik uživatelů může současně pracovat s jedinou databází. V systému jsou dostupné veškeré nástroje a funkce potřebné pro analýzu signálů ve frekvenční oblasti. Obsahuje rovněž speciální moduly pro diagnostiku valivých ložisek, diagnostiku převodovek nebo diagnostiku elektromotorů. V následujících řádcích si stručně představíme uživatelské prostředí a některé základní funkce programu. [18]

- **Uživatelské prostředí**

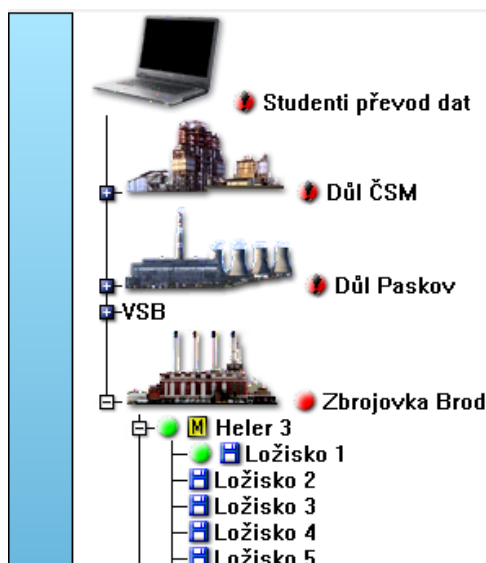
Uživatelské prostředí je rozděleno na ovládací část, pracovní část a dialogová okna.



Obr. 45. Uživatelské prostředí DDS 2011 [18]

- **Strom**

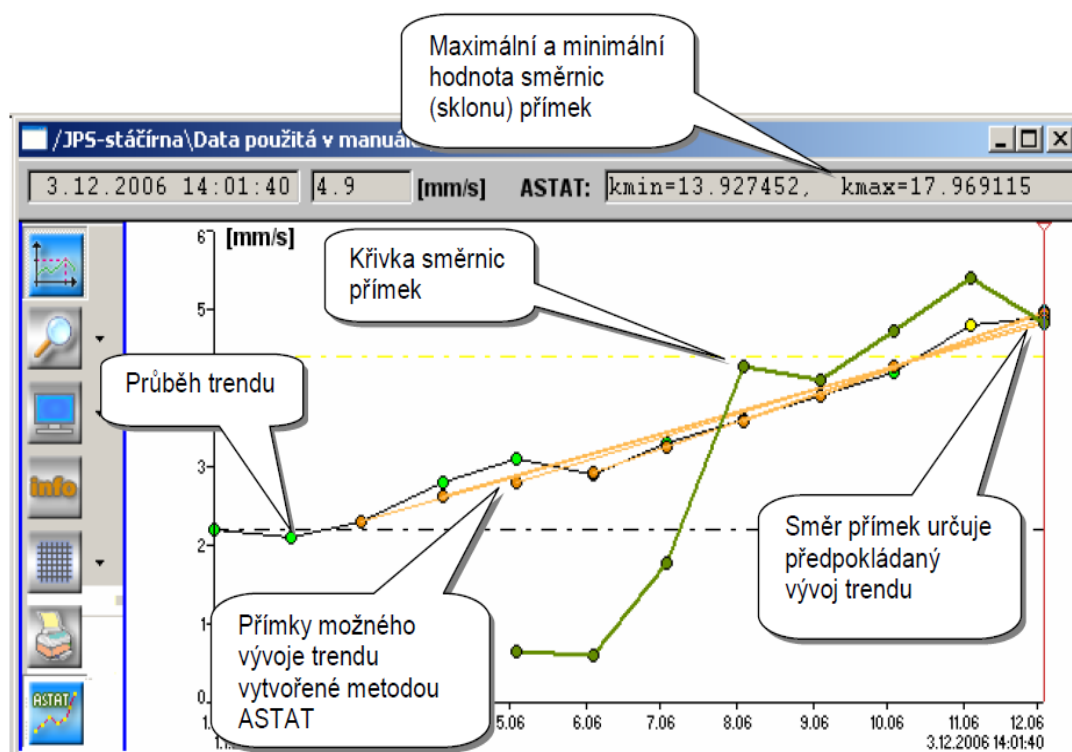
Strom je základní stavební strukturou, která slouží pro ukládání dat. Strom lze zobrazit v základním, ale také v grafickém tvaru.



Obr. 46. Strom databáze

- **ASTAT - předpověď vývoje stavu stroje**

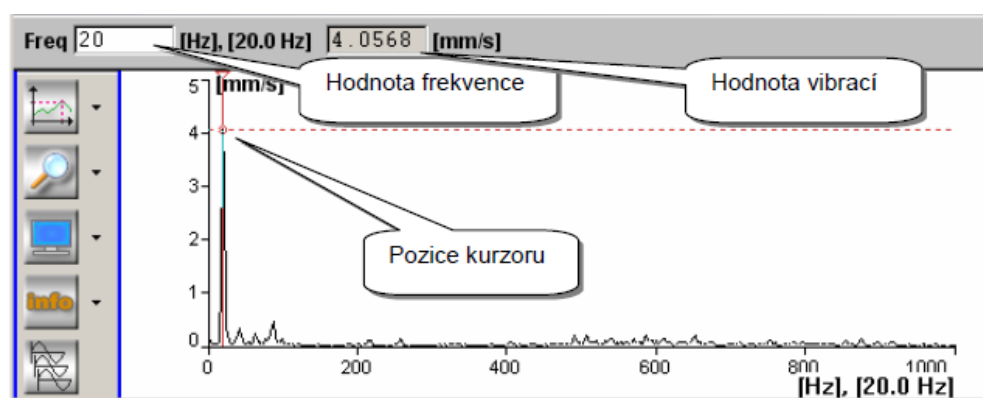
Metoda ASTAT patří do skupiny nástrojů "FASIT" (Fault Source Identification Tools), které lze chápat jako "poradce" pro fázi detekce a identifikace poruch. [18]



Obr. 47. ASTAT - předpověď vývoje stavu stroje [18]

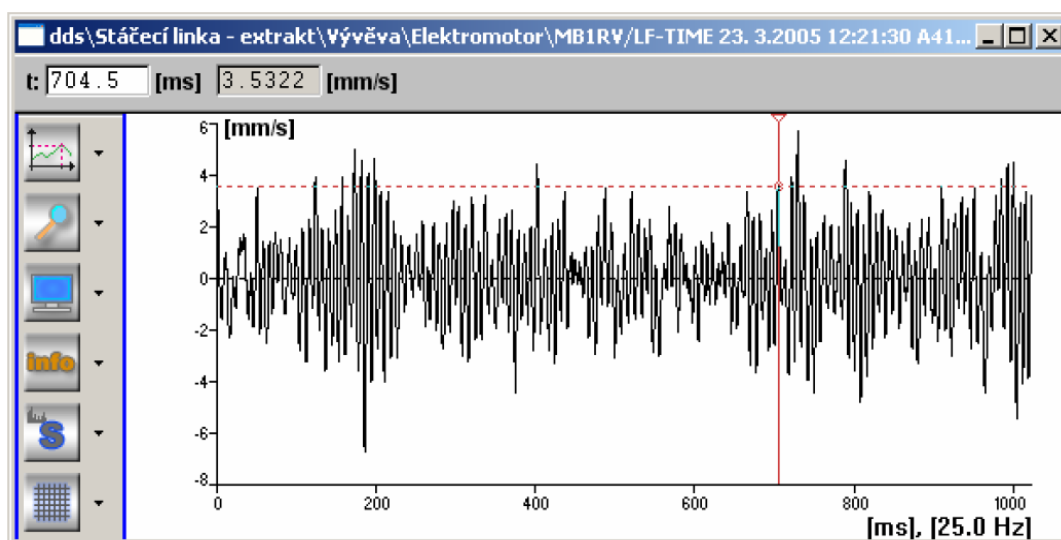
- **Spektra**

Spektra představují komplexní pohled na informace obsažené ve vibračním signálu. [18]



Obr. 48. Frekvenční spektrum [18]

- **Časové záznamy**



Obr. 49. Časový záznam [18]

Mezi další funkce programu pro analyzování dat patří reporting, nastavení kritických hodnot, metoda semafor, rychlé prohlížení dat, trendování na základě spekter, polární trendování, umožnění poslechu naměřených dat, řadová analýza, frekvenční odezva, dvoukanálové spektrum, hodnocení dat ve vertikálním, horizontálním a axiálním směru a další.

Nejčastěji jsem tento program využíval k hodnocení spektra ložisek, zjištění rychlosti a zrychlení a také obálku ložiska. Program bych doporučil z hlediska jednoduchosti, srozumitelnosti, a pro lepší řízení údržby jak on - line, tak i off – line.

6.2 Navržení vlastního měření

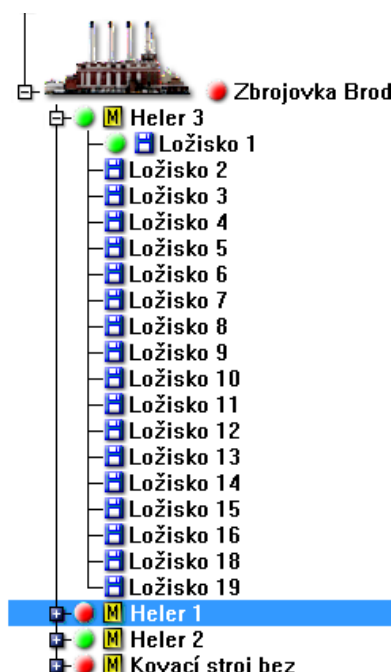
Návrh diagnostického systému je velmi obtížný. Systém běžně tvoří několik částí (např. diagnostikovaný stroj, diagnostické měřicí zařízení, diagnostický program a další). V rámci mé práce se bude jednat pouze o vibrodiagnostické měření. Cílem systému je hlavně sledování vibrací a stavu vřetenových ložisek během jejich provozu. Monitoring těchto parametrů je velmi důležitý z hlediska zachování kvality, průběhu a vyhnutí se možnosti neočekávaných odstávek během výroby. Systém se pak může vložit do příslušného softwaru (např. DDS 2011), který sleduje technický stav jednotlivých strojů a tento by pak upozorňoval příslušné pracovníky na vznikající závady. Mohl by se sestavit

v softwaru strom jednotlivých strojů na příslušném oddělení a celkově tyto oddělení dát do jednoho celku pod název podniku.

Příklad možné podoby stromu:

Zbrojovka → obrobna → obráběcí stroje → Heller H1
 → Heller H2
 → Heller H3
 → konvenční stroje

Sestavení tohoto stromu by mělo v České zbrojovce a.s. smysl, pokud by se sestavoval pro celý podnik (všechny monitorované stroje), v rámci mého měření je to zbytečné.

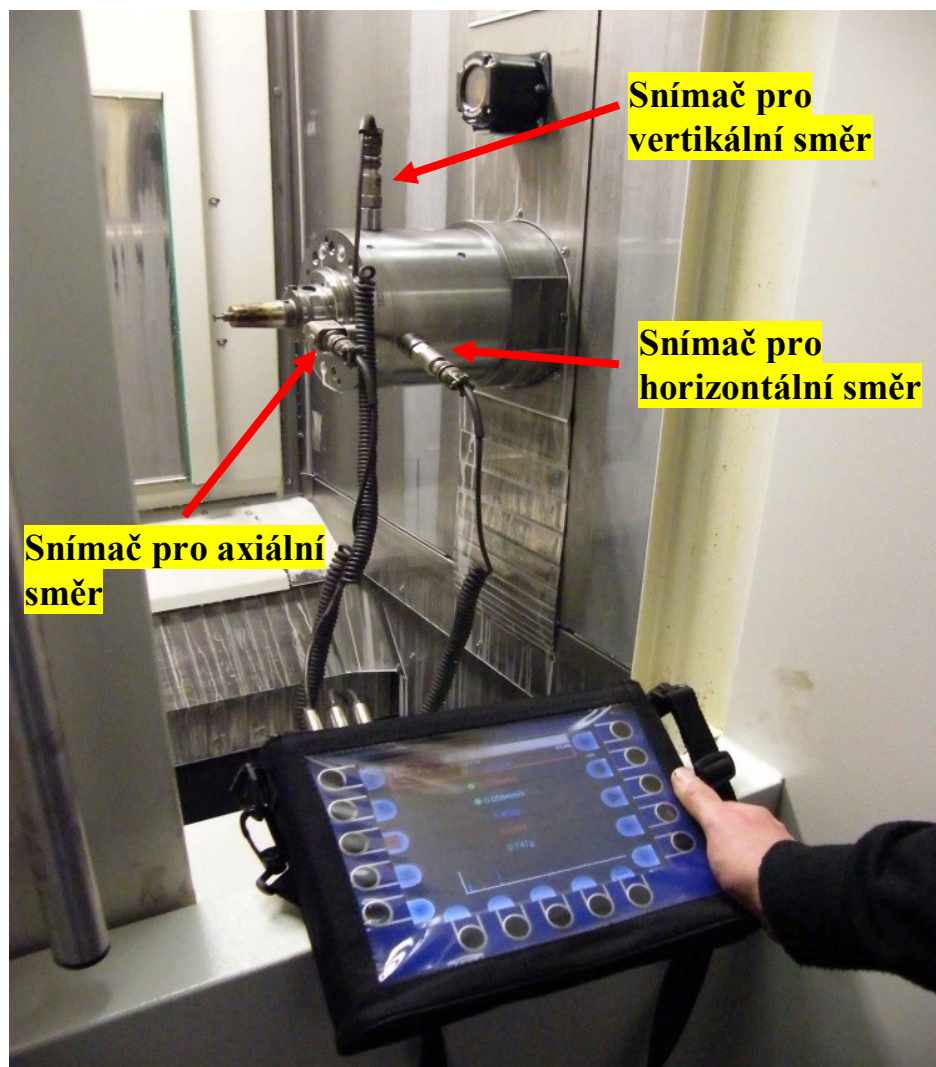


Obr. 50. Příklad stromu rozčlenění v podniku

6.2.1 Měřicí místo na strojích Heller H 2000

Volba měřících míst je velmi důležitá z důvodu nezkreslených výsledků měření a vyhodnocení stavu vřetenových ložisek. Kvůli nemožnému přístupu k zakrytované zadní části vřetene bylo u všech strojů Heller H 2000 zvoleno jako místo měření vibrací pouze v přední části vřetene, tedy u předního ložiska. Měřilo se ve třech směrech: vertikálním, horizontálním a axiálním. Měření se provádělo při nezatíženém procesu vřetene při otáčkách 5000 min^{-1} . K získání přesných hodnot o stavu ložisek ve vřetenu by bylo určitě nejlepší umístit snímače vibrací přesně do míst v zakrytované části, kde jsou uloženy. Toto

však nelze, protože stroje jsou v záručním servisu výrobce a ten tuto operaci nedovoluje, ani neposkytuje technickou dokumentaci. A navíc by operace odkrytování vřetene způsobila časové prostoje stroje, obsluhy a především by došlo k narušení výrobního cyklu, ekonomickým ztrátám, což je nemyslitelné.



Obr. 51. Měřící místo u Heller H2000

6.2.2 Výpočet frekvencí

Otáčková frekvence:

Pokud známe otáčky vřetene, jsme schopni pomocí vzorce zjistit otáčkovou frekvenci, u které se ve frekvenčních spektrech bude zobrazovat většina základních závad, které můžeme pak určit (např. nesouosost, nevývaha, atd.).

Otáčky vřetene: 5000 min⁻¹ - měřeno s nástrojem

$$f = \frac{n}{60} = \frac{5000}{60} = 83,3 \text{ Hz} \quad (2)$$

Poruchové frekvence ložisek:

Jak již bylo zmíněno dříve, druhy ložisek byly zjištěny při konzultaci se servisním technikem firmy Heller Services s.r.o. Poruchové frekvence jsou velmi důležité pro zjištění vznikajících závad či přímo poruchy jednotlivých částí ložiska. Frekvence ložisek byly vypočteny přímo na stránkách firmy SKF v programu SKF Bearing Calculator [19]. Otáčky vnitřního kroužku ložiska jsou 5000 min⁻¹, vnější kroužek statický (nerotuje). Všechny poruchové frekvence jednotlivých částí ložiska jsou zobrazeny v následujících tabulkách.

Tab. 3. Poruchové frekvence SKF 7220 BECBP [19]

Poruchové frekvence ložiska SKF 7220 BECBP EXPLORER	
Název	Frekvence při 5000·min⁻¹
Poškození vnitřního kroužku (BPFI)	759 [Hz]
Poškození vnějšího kroužku (BPFO)	575 [Hz]
Poškození valivých elementů (BSF)	225 [Hz]
Poškození klece (FTF)	35,9 [Hz]

Tab. 4. Poruchové frekvence SKF 7218 BECBP [19]

Poruchové frekvence ložiska SKF 7218 BECBP EXPLORER	
Název	Frekvence při 5000 min⁻¹
Poškození vnitřního kroužku (BPFI)	759 [Hz]
Poškození vnějšího kroužku (BPFO)	575 [Hz]
Poškození valivých elementů (BSF)	227 [Hz]
Poškození klece (FTF)	35,9 [Hz]

6.2.3 Použité měřicí přístroje

Pro měření na všech strojích byly použity dva přístroje. A to při prvním měření MicroVibe CMVL 3850 Asus se softwarem od firmy SKF a snímačem CMMS 3811 připevněným ke stroji pomocí magnetu.

MicroVibe CMVL 3850 Asus

Levný, kompaktní, lehký a snadná ovladatelnost. Primárně se používá pro rychlou kontrolu.



Obr. 52. MicroVibe CMVL 3850 Asus

ADASH A4400 – VA4Pro

Pro druhé a třetí měření na strojích byl použit analyzátor ADASH A4400 – VA4Pro, kterým se provádí vibrodiagnostický sběr dat. Rovněž se s ním můžou provádět akustická měření. Přístroj obsahuje i další moduly měření, a to modul pro provozní vyvažování strojů, kontrolu mazání, poslech vibračního signálu a měření rozběhů a doběhů. Je vhodný pro pochůzková, servisní a kontrolně inspekční měření. Pro měření byly použity tři snímače pro vertikální, horizontální a axiální směr, taky od firmy ADASH připevněné ke vřetenu pomocí magnetu. Výhody uchycení jsou v rychlosti, je ale nutné dbát na správné umístění a ošetření povrchu.



Obr. 53. Analyzátor ADASH A4400 – VA4Pro

Tab. 5. Technická specifikace ADASH A4400 – VA4Pro [20]

Vstupní kanály:	<ul style="list-style-type: none"> • 4 AC s možností ICP® napájení • 4 DC pro procesní veličiny • 1 TACHO pro externí spouštění 	Zpracování dat:	<ul style="list-style-type: none"> • FFT analýza v reálném čase • ENVELOPE - obálková analýza • ACMT - analýza stavu pomaloběžných ložisek • řádová analýza • měření v uživatelských pásmech • měření otáček • měření procesních DC veličin
Vstupní rozsahy:	<ul style="list-style-type: none"> • AC +/- 12 V peak-peak • DC +/- 24 V 		
AD převodník:	<ul style="list-style-type: none"> • 24 bit, 64 bit zpracování signálu není potřeba AutoGain! 		
Odstup Signál/Šum:	<ul style="list-style-type: none"> • 110 dB 	Spouštění:	<ul style="list-style-type: none"> • manuálně • externě - tachosonda, TTL úrovně • překročením zvolené amplitudy signálu • časovým intervalem • změnou otáček
Vzorkovací frekvence:	<ul style="list-style-type: none"> • max. 196 kHz pro 1 kanál • max. 64 kHz současně pro 4 kanály • min. 64 Hz 	Displej:	<ul style="list-style-type: none"> • barevný 800 x 600, LCD
Synchronizace:	<ul style="list-style-type: none"> • plně synchronní měření na 4 kanálech 	Rozhraní:	<ul style="list-style-type: none"> • USB, Ethernet
Rozsah FFT:	<ul style="list-style-type: none"> • min. 100 čar • max. 25 600 čar 	Teplotní rozsah:	<ul style="list-style-type: none"> • -10°C až +50°C
Režimy měření:	<ul style="list-style-type: none"> • Datakolektor - pochůzková měření • Analyzátor - analytická měření • Balancer - provozní vyvažování strojů • RunUp - měření rozběhů a doběhů • Recorder - záznam signálů 	Napájení:	<ul style="list-style-type: none"> • akumulátor pro 6 hodin, AC 230 V
Procesor:	<ul style="list-style-type: none"> • Intel Atom 1,6 GHz 	Rozměry:	<ul style="list-style-type: none"> • 230 x 140 x 60 mm
Paměť pro data:	<ul style="list-style-type: none"> • až 120 GB 	Krytí:	<ul style="list-style-type: none"> • IP 65
		Váha:	<ul style="list-style-type: none"> • cca 2000 g

6.2.4 Měřené veličiny

Přístroj ADASH A4400 dovoluje měření několik veličin. Při měření vibrací vřetenových ložisek se přístrojem měřily tyto parametry.

- Efektivní hodnota (RMS) rychlosti v pásmu 10 – 1000 Hz
- Efektivní hodnota (RMS) zrychlení v pásmu 500 – 25600 Hz
- ACMT při frekvenci vzorkování 1024 Hz
- Obálka zrychlení v efektivních hodnotách v pásmu 500 – 25600 Hz
- Časový záznam v pásmu 500 – 25600 Hz
- Časový záznam v pásmu 500 – 12800 Hz
- Časový záznam v pásmu 1 – 640 Hz
- Orbita ložiska při 800 Hz
- Efektivní hodnota při 500 – 10000 Hz
- Efektivní hodnota ložiska při 10000 – 25000 Hz

Dále:

- FFT spektra rychlosti v pásmech 10 – 800 Hz
- FFT spektra zrychlení v pásmech 10 – 25600 Hz
- FFT spektra rychlosti v pásmech 1 – 12800 Hz
- Vytvoření grafů trendů z vývoje veličin

Kritické hodnoty rychlosti v RMS:

Pro rychlost byly nastaveny dvě kritické hodnoty, a to jako varovná horní a kritická horní hodnota rychlosti.

Kritické hodnoty absolutní:

[mm/s]

Varovná dolní:	<input type="checkbox"/>	0.5
Kritická dolní:	<input type="checkbox"/>	0.0
Varovná horní:	<input checked="" type="checkbox"/>	0.5
Kritická horní:	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0

Obr. 54. Kritické hodnoty rychlosti

Kritické hodnoty rychlosti v RMS:

To samé bylo uděláno pro zrychlení, kde byla taktéž nastavena varovná horní a kritická horní hodnota zrychlení.

Kritické hodnoty absolutní:

[g]

Varovná dolní:	<input type="checkbox"/>	0.0
Kritická dolní:	<input type="checkbox"/>	0.0
Varovná horní:	<input checked="" type="checkbox"/>	1.5
Kritická horní:	<input checked="" type="checkbox"/>	2.0

Obr. 55. Kritické hodnoty zrychlení

Postup měření probíhal následovně:

- zapnutí a nastavení měřicího přístroje
- čekání na ukončení výrobního procesu stroje
- otevření pracovního prostoru (měřící místo) a zablokování dveří pomocí speciálního klíče
- připevnění snímačů na měřící místo (přední část vřetena) ve třech směrech (vertikál, horizontal, axial)
- nastavení požadovaných otáček a upnutí nástroje (malá fréza)
- spuštění vřetene na požadované otáčky
- zahájeno měření hodnot a zhruba vyhodnoceno na místě
- po ukončení měření vřeteno zastaveno
- obnovení výrobního cyklu stroje obsluhou
- další vyhodnocení měření pomocí příslušného softwaru na počítači

6.2.5 Vyhodnocení vibrodiagnostického měření

U všech strojů Heller H 2000 jsem provedl 3 měření vibrací v časovém intervalu zhruba jednou za dva měsíce (9. 11. 2012, 14. 1. 2013 a 29. 4. 2013). Měření se dělala na středisku s číselným označením 3150 (obrobna) při konstantních otáčkách včetně 5000 min⁻¹ s nástrojem. K vyhodnocování naměřených dat jsem použil normu ČSN 10816-3, která řadí měřené stroje do skupiny 2 - stroje o střední velikosti s výkonem od 15kW do 300kW a výškou hřídele 160mm ≤ H ≤ 315mm (viz tab. 6).

Tab 6. ČSN ISO 10816-3 [31]

Třída uložení	Hranice pásma	Efektivní hodnota výchylky μm	Efektivní hodnota rychlosti mm/s
TUHÉ	A/B	22	1,4
	B/C	45	2,8
	C/D	71	4,5
PRUŽNÉ	A/B	37	2,3
	B/C	71	4,5
	C/D	113	7,1

A – vibrace nových přejímaných strojů

B – neomezeně dlouhý provoz

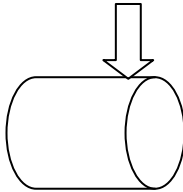
C – neuspokojivé pro dlouhodobý a trvalý provoz strojů

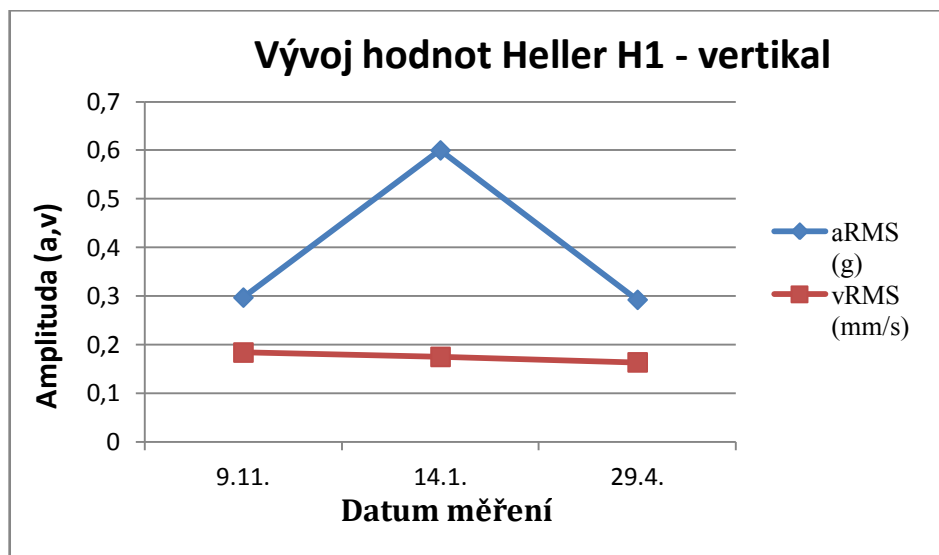
D – vibrace mohou způsobit poruchu stroje

➤ Vyhodnocení stavu stroje Heller H 2000 H1

Naměřené hodnoty:

Tab. 7. Hodnoty z měření Heller H 2000 H1 - vertikál

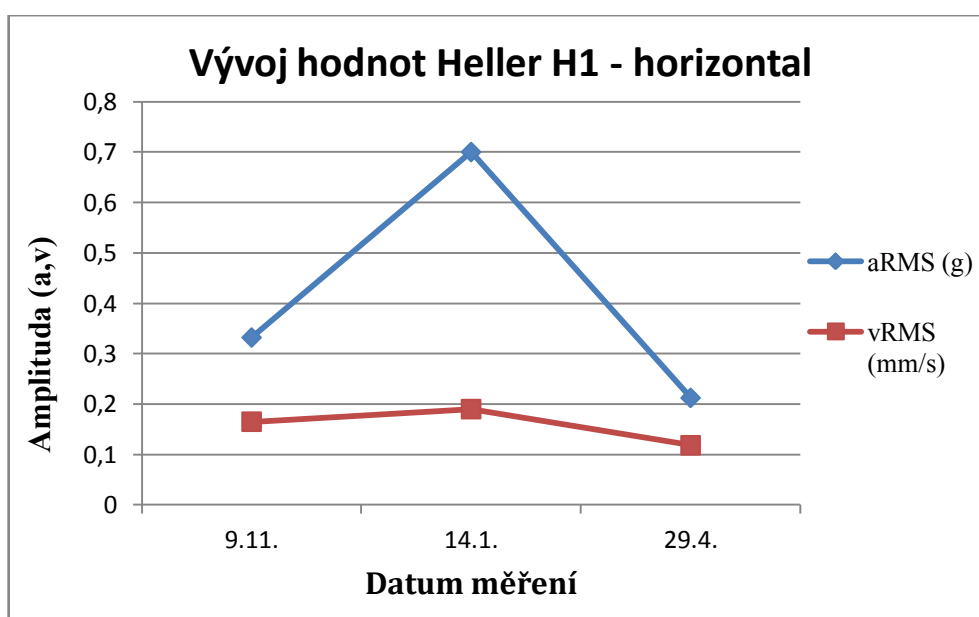
Heller H 2000 H1				
Vertikal	Datum/ veličina	9.11.	14.1.	29.4.
	a _{RMS} (g)	0,297	0,6	0,292
	v _{RMS} (mm/s)	0,184	0,18	0,164



Obr. 56. Trendový graf hodnot Heller H 2000 H1 vertikál

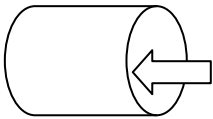
Tab. 8. Hodnoty z měření Heller H 2000 H1 - horizontal

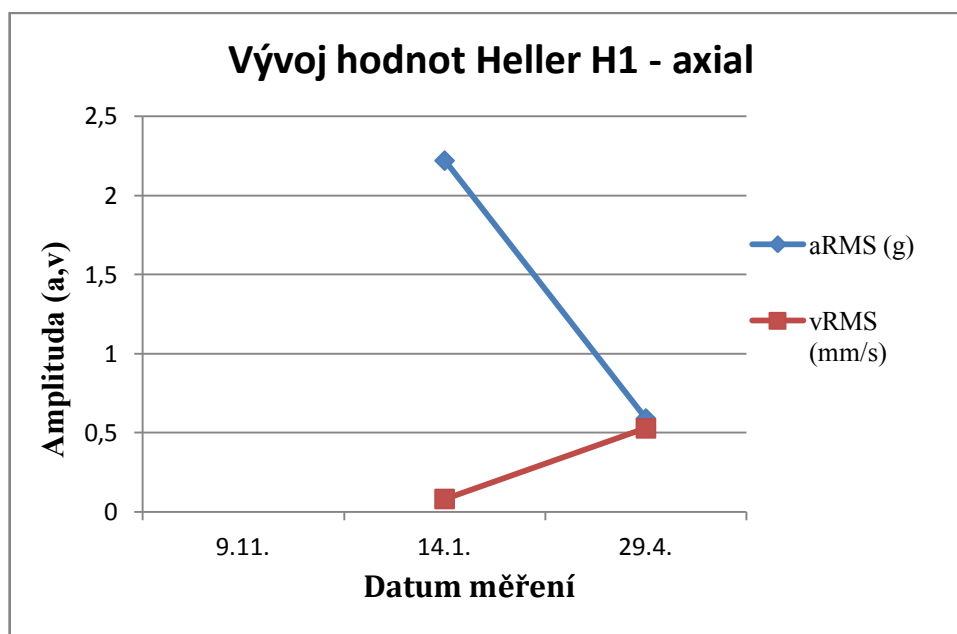
Heller H 2000 H1				
Horizontal	Datum/ veličina	9.11.	14.1.	29.4.
	a _{RMS} (g)	0,332	0,7	0,212
	v _{RMS} (mm/s)	0,165	0,19	0,118



Obr. 57. Trendový graf hodnot Heller H 2000 H1 horizontal

Tab. 9. Hodnoty z měření Heller H 2000 H1 - axial

Heller H 2000 H1				
Axial	Datum/ veličina	9.11.	14.1.	29.4.
	a_{RMS} (g)	-	2,22	0,589
	v_{RMS} (mm/s)	-	0,08	0,527



Obr. 58. Trendový graf hodnot Heller H 2000 H1 axial

Z naměřených hodnot u stroje Heller H 2000 H1 je vidět, že mezi prvním a druhým měřením došlo ke zvýšení hodnot zrychlení vibrací přibližně o dvojnásobek ve vertikálním a horizontálním směru. Avšak mezi druhým a třetím měřením došlo 24. 2. 2013 k havárii, kdy byl nabourán posuvný stůl, a muselo se vyměnit vřeteno. 27. 2. 2013 bylo vřeteno doručeno do podniku a následující den bylo vřeteno vyměněno servisními technikami firmy Heller Services s.r.o. 1. 3. 2013 proběhlo seřízení stroje (házení před 0,08 mm, po výměně 0,002 mm). Během provozu stroje s novým vřetenem byl však objeven problém s chlazením vřetene. Jednalo se o problém s chladicími kanálky, kdy při montáži jednotlivých částí vřetene ve výrobě došlo lidskou chybou k špatnému sestavení a vznikla nesouosost kanálek zhruba o 5°. Tento problém způsobil špatné proudění chladicí kapaliny Antifrogen, a proto se vřeteno muselo znovu vyměnit. 4. 3. 2013 bylo nové vřeteno poslané z Německa a bylo doručeno 27. 3. 2013. Následující den bylo toto nové vřeteno

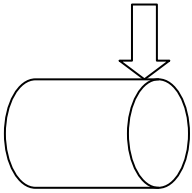
namontováno do stroje servisními techniky firmy Heller Services s.r.o a opět proběhlo seřízení stroje.

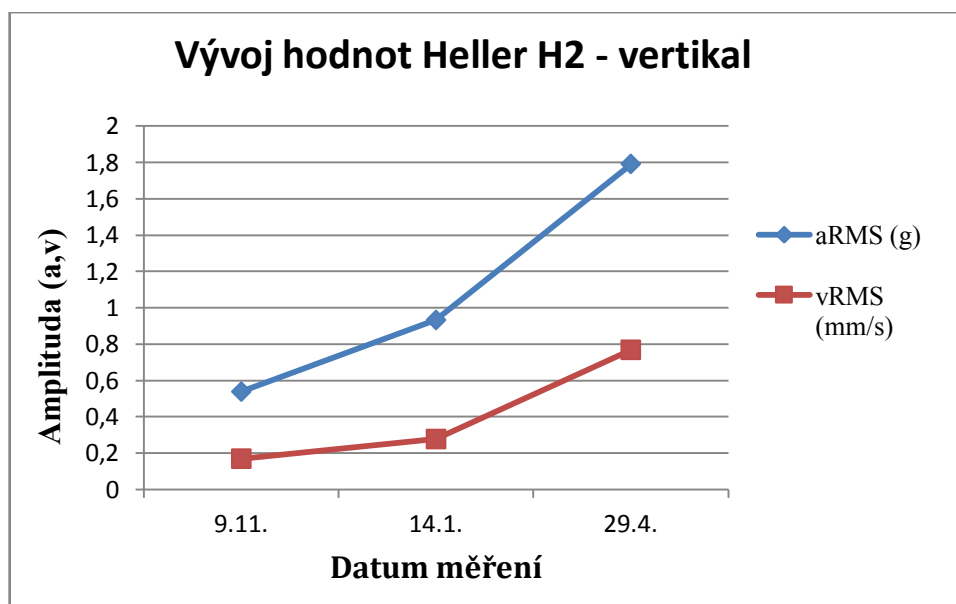
Jak je vidět z výsledků třetího měření, které bylo provedeno po výměně vřetena, hodnoty rychlosti a zrychlení klesly na úroveň normálního stavu odpovídajícímu hodnotám nového ložiska. Trošku je zvýšená hodnota v axiálním směru, ale to je z důvodu předeprnutí ložisek při montáži. Z toho vyplývá, že vřeteno je v pořádku a u stroje není potřeba zásahu údržby. Dále bude stačit provádění pravidelného měření vibrací v časových intervalech jako doposud.

➤ Vyhodnocení stavu stroje Heller H 2000 H2

Naměřené hodnoty:

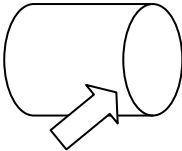
Tab. 10. Hodnoty z měření Heller H 2000 H2 - vertikál

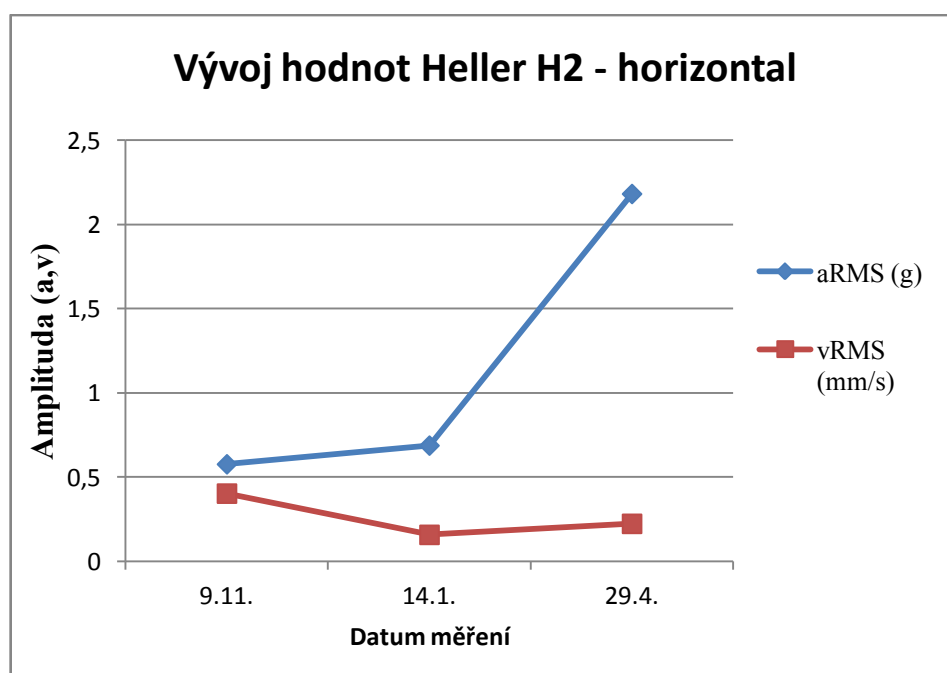
Heller H 2000 H2				
Vertikal	Datum/ veličina	9.11.	14.1.	29.4.
	a_{RMS} (g)	0,538	0,932	1,791
	v_{RMS} (mm/s)	0,169	0,277	0,768



Obr. 59. Trendový graf hodnot Heller H 2000 H2 vertikál

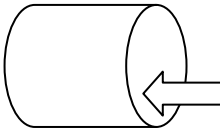
Tab. 11. Hodnoty z měření Heller H 2000 H2 - horizontal

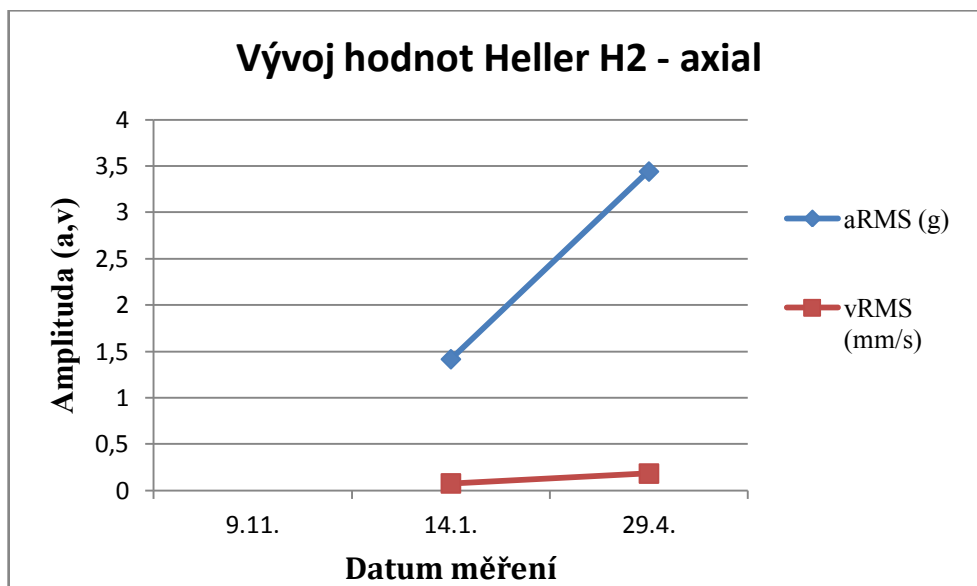
Heller H 2000 H2				
Horizontal	Datum/ veličina	9.11.	14.1.	29.4.
	a_{RMS} (g)	0,577	0,688	2,183
	v_{RMS} (mm/s)	0,403	0,158	0,224



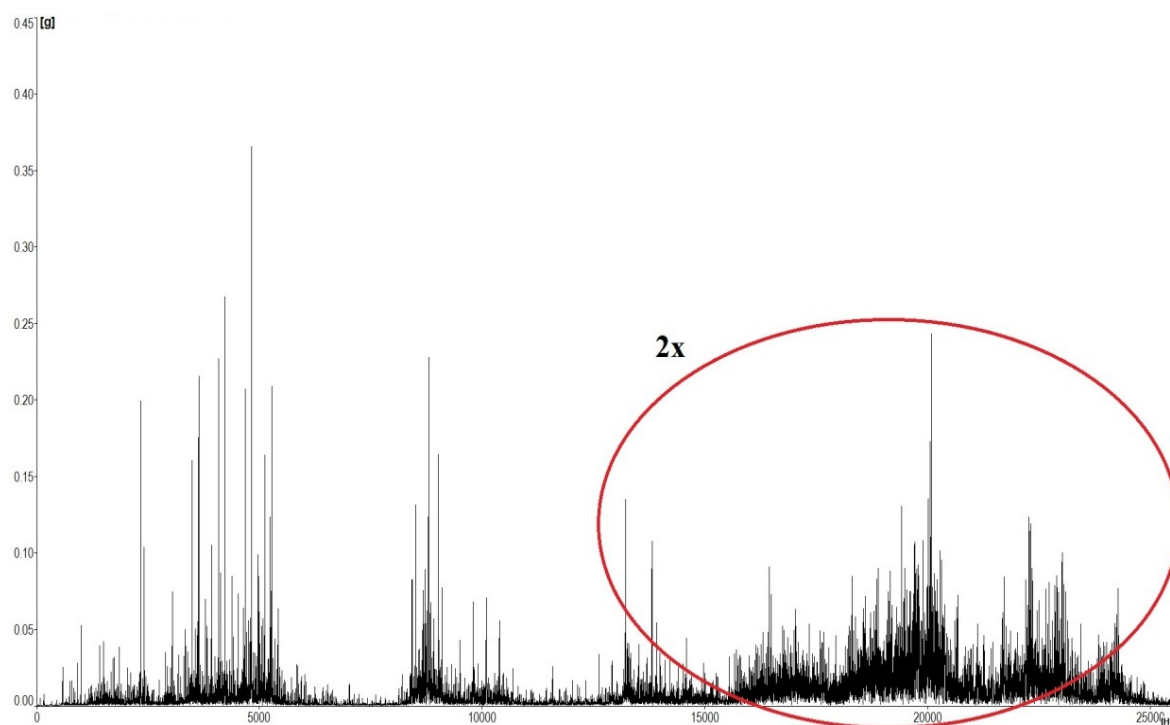
Obr. 60. Trendový graf hodnot Heller H 2000 H2 horizontal

Tab. 12. Hodnoty z měření Heller H 2000 H2 - axial

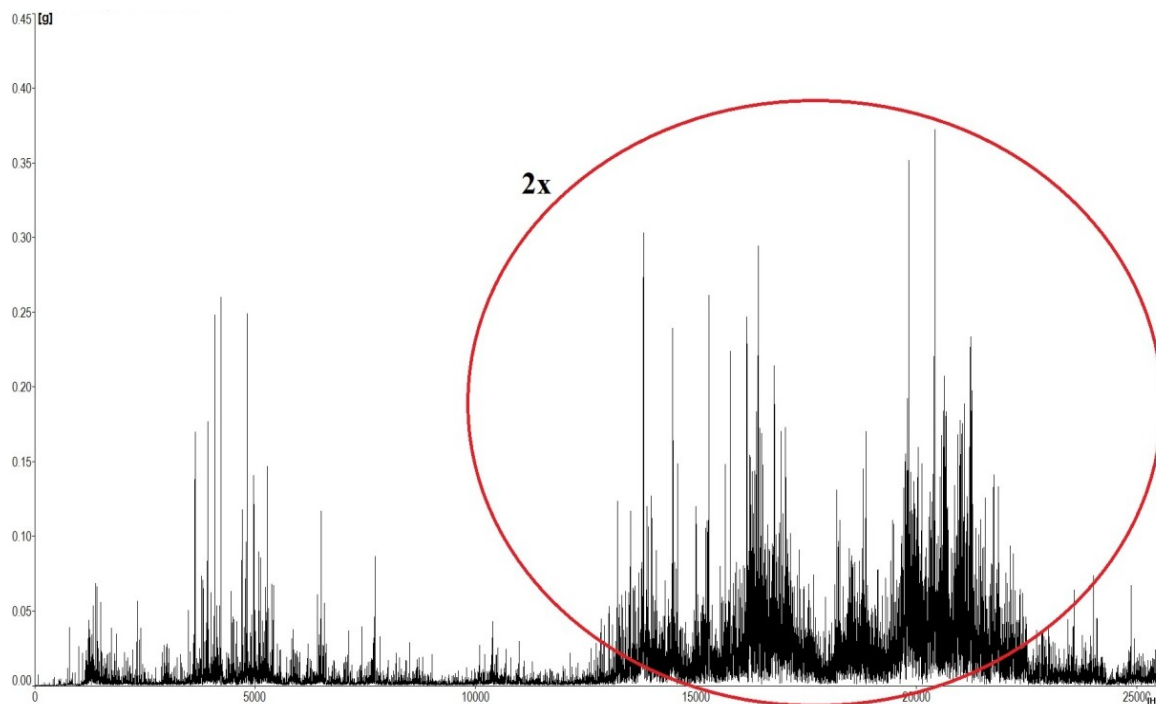
Heller H 2000 H2				
Axial	Datum/ veličina	9.11.	14.1.	29.4.
	a_{RMS} (g)	-	1,417	3,441
	v_{RMS} (mm/s)	-	0,077	0,184



Obr. 61. Trendový graf hodnot Heller H2 axial



Obr. 62. Měření č. 3. frekvenční spektrum v pásmu 10 – 25 600 Hz – horizontal



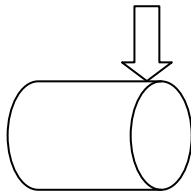
Obr. 63. Měření č. 3. frekvenční spektrum v pásmu 10 – 25 600 Hz – axial

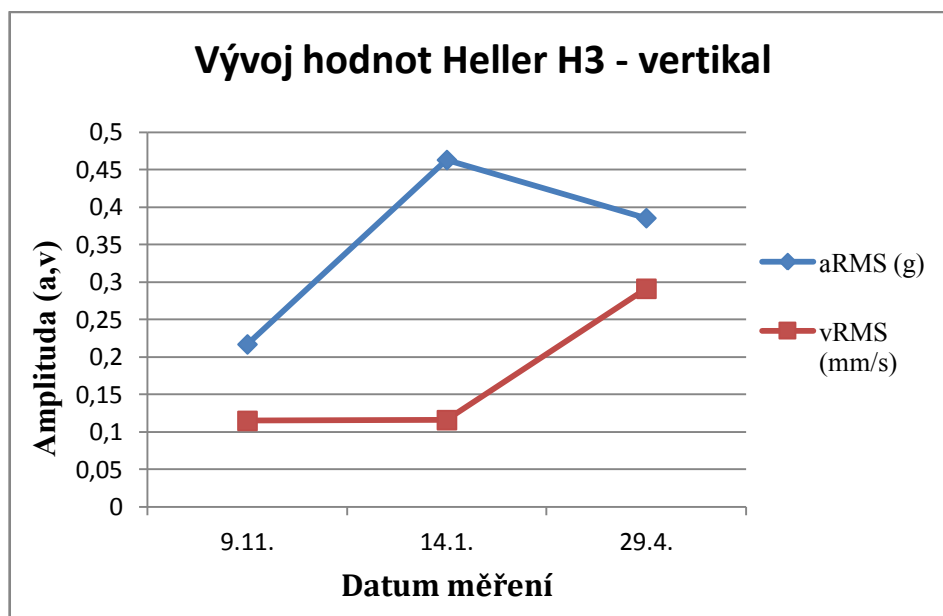
Hodnoty rychlosti vibrací jsou dle ČSN v normě, i když ve vertikálním směru je rychlost trošku vyšší. Z naměřených hodnot a grafů zrychlení ve všech směrech můžeme vidět velký nárůst o dvojnásobek hodnot zrychlení, který byl zjištěn v třetím měření. Toto může upozorňovat na začínající problémy s ložisky. Analýza frekvenčního spektra (10 – 25 600 Hz) z druhého a třetího měření v horizontálním a axiálním směru také ukázala nárůst hodnot o dvojnásobek. Tento nárůst může opět poukazovat na začínající opotřebení ložisek (např. vznikající pitting) nebo na problémy s mazáním ložisek. Zvýšení hodnot by mohl taky ovlivnit stlačený vzduch, který proudí vřetenem, ale nárůst je velký takže ho můžeme vyloučit. Především by se mohlo jednat o problémy s mazáním ložisek nebo nějaký problém s mazacím systémem (vměstky v potrubí).

Doporučil bych nejprve zkontrolovat množství maziva ložisek ve vřetenu a pak se podívat jestli nedochází někde k úniku maziva ze systému či není problém s mazacím agregátem. Pokud by byl stav maziva v pořádku, bylo by dobré se zaměřit na sledování stavu ložisek. Zvýšit intenzitu kontrol hodnot vibrací na vřetenu na čtrnáctidenní interval měření, aby nedošlo k nečekané havárii a následně i k ekonomickým ztrátám z prostojů stroje.

➤ **Vyhodnocení stavu stroje Heller H 2000 H3****Naměřené hodnoty:**

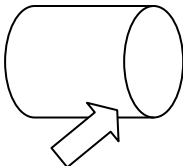
Tab. 13. Hodnoty z měření Heller H 2000 H3 - vertikál

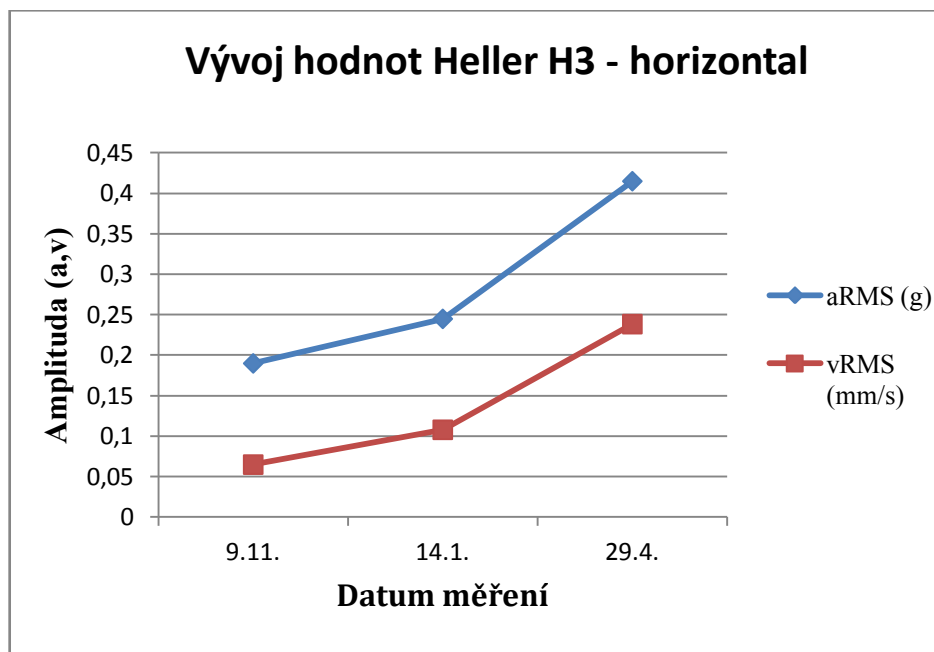
Heller H 2000 H3				
Vertikal	Datum/ veličina	9.11.	14.1.	29.4.
	a_{RMS} (g)	0,217	0,463	0,385
	v_{RMS} (mm/s)	0,115	0,116	0,291



Obr. 64. Trendový graf hodnot Heller H 2000 H3 vertikál

Tab. 14. Hodnoty z měření Heller H 2000 H3 - horizontál

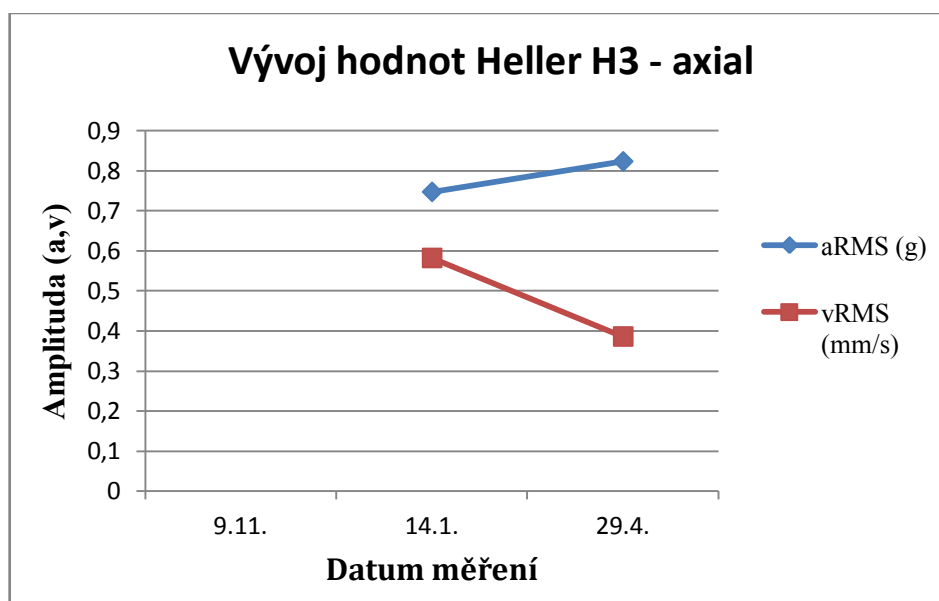
Heller H 2000 H3				
Horizontal	Datum/ veličina	9.11.	14.1.	29.4.
	a_{RMS} (g)	0,19	0,245	0,415
	v_{RMS} (mm/s)	0,065	0,108	0,239



Obr. 65. Trendový graf hodnot Heller H 2000 H3 horizontal

Tab. 15. Hodnoty z měření Heller H3 - axial

Heller H 2000 H3				
Axial	Datum/ veličina	9.11.	14.1.	29.4.
	a _{RMS} (g)	-	0,747	0,823
	v _{RMS} (mm/s)	-	0,582	0,386



Obr. 66. Trendový graf hodnot Heller H3 axial

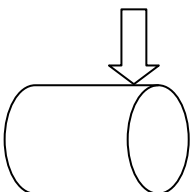
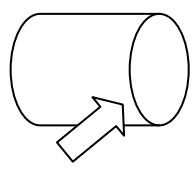
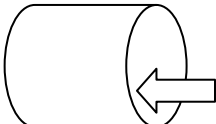
Naměřené hodnoty vibrací jsou v první oblasti dle normy ČSN 10816-3. Mezi druhým a třetím měřením je vidět mírný nárůst hodnot rychlostí a zrychlení, avšak nejsou nijak alarmující. Ani výstupní kontrola obrobků zatím nenašla žádné odchylky v přesnosti, v opačném případě by to naznačovalo poruchu na vřetenu. Stroj byl pořízený na podzim, takže byl měřený jako nový. V analýze spekter nebyly nalezeny žádné velké nárůsty hodnot, jak tomu bylo u Helleru H 2000 H2. Dalšími faktory, které ovlivňují zvyšování hodnoty měření, mohou být např. předeprnutí ložisek vřetena nebo stlačený vzduch proudící neustále vřetenem.

Z hodnot třetího měření vyplývá, že je vřeteno a stroj v dobrém stavu, a proto u něho není zatím potřeba žádné vážné údržby jako u Helleru H 2000 H2. Dále postačí dělat měření stavu vřetena ve stejných časových obdobích, jako bylo prováděno doteď. Pokud by hodnoty vibrací stále rostly, musel by se interval kontrol stavu vřetene zintenzivnit např. dvakrát do měsíce.

Ukázky naměřených spekter z posledního měření u strojů Heller H2000 jsou uvedeny v příloze.

6.2.6 Celkové porovnání hodnot u strojů Heller H 2000

Tab. 16. Porovnání hodnot strojů Heller H2000

Směr	Stroj/ veličina	H1	H2	H3
	a_{RMS} (g)	0,292	1,791	0,385
	v_{RMS} (mm/s)	0,164	0,768	0,291
	a_{RMS} (g)	0,212	2,183	0,415
	v_{RMS} (mm/s)	0,118	0,224	0,239
	a_{RMS} (g)	0,589	3,441	0,823
	v_{RMS} (mm/s)	0,527	0,184	0,386

Z tabulky porovnání strojů je zřejmé, že nejlepších hodnot rychlosti a zrychlení vibrací dosahuje stroj Heller H 2000 H1. Toto je způsobeno díky novému vřetenu. Dále můžeme vidět, že dobré hodnoty, vhodné pro provoz stroje, má i stroj Heller H 2000 H3, který má oproti stroji Heller H 2000 H1 mírně zvýšené hodnoty, ale jsou zanedbatelné. Naproti tomu nejhorších výsledků dosahuje stroj Heller H 2000 H2, jehož hodnoty jsou alarmující a je zde podezření na vznikající závadu.

U stroje Heller H 2000 H1 a H3 zatím postačí nadále provádět kontroly stavu vřetena v intervalech měření jako doposud, jelikož u nich nebyla zjištěna žádná závada. Pro stroj Heller H 2000 H2 byly doporučení pro údržbu popsány výše, kde byl podrobně analyzován jeho stav a měl by se více sledovat jak operátorem, tak i údržbou a zvýšit četnost prováděných měření, aby nedošlo k nečekané poruše na stroji.

6.2.7 Celkové doporučení

- **Systém a měřicí přístroj**

Systém a přístroj, kterým jsou získávány údaje o stavu strojů z oblasti vibrodiagnostiky, je v podniku dostatečný, ale nevyužívá moc výhod plynoucích pro zlepšení systému. Je to především zapisování, ukládání a zpracování naměřených hodnot. Mohou se dělat chyby např. při přepisování naměřených hodnot z papíru do počítače. Tento nedostatek by mohlo odstranit pořízení dalšího měřicího přístroje a softwaru pro vyhodnocování naměřených hodnot, kdy by se především zmenšil čas měření a zrychlilo by se i vyhodnocení stavů jednotlivých strojů.

Přístroj by měl splňovat:

- pochůzkové měření
- přehledné ukládání dat
- okamžité hodnocení stavu
- možnost trendování
- nastavení kritických hodnot upozornění (semafor)
- možnost měření obálky
- jednoduchá obsluha
- měření vysokých frekvencí a SEE
- software pro ukládání a vyhodnocení naměřených hodnot

- **Monitoring strojů**

Pozorování technického stavu strojů je velmi důležité především pro jeho spolehlivý provoz a kvalitu výrobku. Proto bych doporučil nadále sledovat výši naměřených hodnot vibrací u včetně strojů, stav provozních kapalin a přesnosti výroby stroje. Pokud by došlo k nárůstům hodnot těchto parametrů přes hraniční hodnoty použitelnosti pro výrobu a bylo by to v rámci jednoduchých oprav, mohl by podnik provést údržbu samostatně. V případě větších oprav a závad by však bylo nutné zavolat servis výrobce, v tomto případě by to byl Heller Services s.r.o. Vráble. Stroje jsou ale v záruční době, a proto většinu údržby vykonává servis výrobce.

Dále doporučuji vhodně vytvořit plán pochůzkových měření stavu strojů a přesně ho dodržovat dle intervalu kontrol uvedených v hodnocení strojů, tedy jednou za měsíc. Při nálezů vzniku závady doporučuji zintenzivnit počet měření a podle toho naplánovat údržbu strojů.

- **Koncepce rozšíření údržby**

Nadále v podniku rozvíjet způsoby údržby strojů a zdokonalovat ji využíváním metod technické diagnostiky (vibrodiagnostika, tribodiagnostika, termodiagnostika, atd.), která nám ušetří nemalé náklady skrz náhradní díly, provozní kapaliny a hlavně ekonomické ztráty díky prostojům strojů. Implementovat systém řízení údržby, kde jsou zaznamenávány všechny potřebné data stroje a kapacity nutné údržby. Tyto informace o strojích je nutné stále sledovat a vyhodnocovat trend jejich změn.

7 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo zjistit technický stav horizontálních vřeten u CNC strojů Heller H 2000 používajících se na výrobu částí střelných zbraní ve firmě Česká zbrojovka a. s. Uherský Brod. Ze začátku práce byl popsán profil firmy, historie a způsob provádění údržby v podniku. Ta se v dnešní době dělá dodavatelsky na základě smlouvy nebo objednávek. Dále jsme se seznámili s popisem strojů Heller H 2000, jejich začleněním do výroby, technickými parametry atd. Následně byly popsány metody kontrol technického stavu obráběcích strojů, a to především měření přesnosti a diagnostiky jednotlivých částí stroje, a dále byl proveden rozbor vhodných metod pro sledování technického stavu (vibrodiagnostika, tribodiagnostika). Těchto metod by se měl podnik v dnešní době držet, nadále je rozvíjet a aplikovat je na údržbu strojů, z toho důvodu, že jejich používání vede k poklesu rizikovosti delší odstávky strojů, možnosti vzniku poruch, nákladů na opravy strojů a především i o ekonomickou úsporu. Vývoj v technické diagnostice jde pořád dopředu a postupem času budou jak vibrodiagnostika, tak i další disciplíny technické diagnostiky nacházet pořád větší uplatnění u obráběcích strojů, a to z toho důvodu, že se firmy čím dál tím víc snaží optimalizovat výrobní náklady.

V rámci praktické části práce jsem prováděl vibrodiagnostiku měření horizontálních vřeten strojů Heller H 2000. Pro měření se používal měřicí přístroj MicroVibe P CMVL 3850 a ADASH A4400 – VA4Pro. Následně po měření jsem provedl jejich vyhodnocení. Sledoval jsem především základní parametry vibrodiagnostiky, a to efektivní hodnotu rychlosti (v_{RMS}) a efektivní hodnotu zrychlení (a_{RMS}). Dle měření bylo zjištěno, že vřetena u strojů Heller H 2000 s označením H1 a H3 vyhovují pro další provoz. Navíc u stroje Heller H 2000 H1 došlo mezi 2. a 3. měřením k havárii a k výměně vřetena, proto tento stroj měl nejmenší naměřené hodnoty vibrací. U těchto strojů nebylo nijak zvláště nutné stanovovat doporučení pro údržbu. Naopak u stroje Heller H 2000 s označením H2 byl zjištěn velký nárůst vibrací. Z analýzy frekvenčních spekter vyplynulo podezření na začínající poškození ložisek ve vřetenu či problémy s mazáním ložisek. Dle tohoto jsem stanovil doporučení a opatření pro údržbu a informoval vedoucího údržby na možnou poruchu. Všechna doporučení pro stroje Heller H 2000 jsou popsána a rozvedena výše v měřeních.

Na závěr byly tyto výsledky měření a doporučení prodiskutovány s vedoucím údržby strojů a stanoveny oblasti, kterým by měla být věnována do budoucna pozornost:

- **Systém a měřicí přístroj**
- **Monitoring strojů**
- **Koncepce rozšíření údržby**

Přínosem aplikace těchto opatření je zvýšení životnosti strojů a jejich řezných nástrojů a taky velmi důležitou součástí je disponibilita zařízení. Údržba v podniku je prováděna v převážné většině údržbou po poruše. Proto je v současnosti nutné stavět na vyšších stupních údržby jako je prevence a predikce. Je nezbytností, aby se investovaly prostředky do moderních predikčních přístrojů a zvýšil se podíl této složky údržby.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HELEBRANT, František. *Technická diagnostika a spolehlivost IV: Provoz a údržba strojů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2008, 127 s. ISBN 978-80-248-1690-6.
- [2] KREIDL, Marcel a Radislav ŠMÍD. *Technická diagnostika: senzory, metody, analýza signálu*. 1. vyd. Praha: BEN, 2006, 406 s. ISBN 80-730-0158-6.
- [3] Podklady firmy Česká zbrojovka a. s. Uherský Brod
- [4] HELEBRANT, František, Jiří ZIEGLER a Daniela MARASOVÁ. *Technická diagnostika a spolehlivost I: Tribodiagnostika*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2001, 155 s. ISBN 80-707-8883-6.
- [5] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. Vyd. 2, přeprac., rozš. Praha: MM publishing, 2010, 420 s. ISBN 978-80-254-7980-3.
- [6] VESELÝ, Petr, Jan SMOLÍK a David BURIAN. Pokročilá diagnostika obráběcích strojů [online]. 09/2004 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/pokrocila-diagnostika-obrabecich-stroju.html>
- [7] Norma ISO 230. [online]. [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://shop.normy.biz/detail/26631>
- [8] BACH, Pavel. *Geometrická přesnost – Schlesingerova metoda* [online]. 2009 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12135-VSZ/download/obor_stud/SD_-_2351086/M_Geometricka_presnost_Schlesingerova_metoda.pdf
- [9] Diagnostika NC a CNC strojů. [online]. [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://www.diagnostikastroju.cz/nc_a_cncdiagnostika.php
- [10] VAVŘAČ, Jakub. *Komplexní údržba CNC obráběcích strojů* [online]. 10/2010 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/komplexni-udrzba-cnc-obrabecich-stroju.html>
- [11] *Technická diagnostika* [online]. [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://www.diagnostikastroju.cz/technicka_diagnostika.php
- [12] ZUTH, Daniel a František VDOLEČEK. *Měření vibrací ve vibrodiagnostice* [online]. 1/2010 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40375.pdf>
- [13] Příručka SKF pro diagnostiku ložisek
- [14] ČSN ISO 10816 [online]. [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://shop.normy.biz/detail/51585><http://shop.normy.biz/detail/51585>
- [15] *Diagnostika valivých ložisek* [online]. [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://adash.cz>
- [16] *Metoda SPM* [online]. [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://www.reliabilityweb.com/articles/shock_pulse.pdf

- [17] TURAN, Tomáš a Vladimír NOVÁČEK. Analýza oleje – prostředek pro sledování stavu strojů. In: [online]. 06/2008 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://www.tribotechnika.sk/1-2008/tribotechnika_Analyza_oleje.html
- [18] *DDS 2011* [online]. [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://adash.cz/doc/dds2011/dds2011_man_cz.pdf
- [19] *SKF Bearing Calculator* [online]. [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://webtools3.skf.com/BearingCalc/selectProduct.action;jsessionid=2C14475A1E98031CB2A720B1C9A60F45>
- [20] *A4400-VA4Pro* [online]. [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://adash.cz/doc/a4400/A4400_info_cz.pdf
- [21] *Technická data Heller H 2000* [online]. [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.heller-us.com/media/brochures/Technical%20Data%20H2000-4000EN.pdf>
- [22] *Renishaw QC10 systém* [online]. [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.en-machining.com/docs/Services/Ballbar/ballbar.html>
- [23] *Vřetenová ložiska* [online]. [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.troma.cz/detailaktualita.aspx?IDAktualita=16>
- [24] *Vřetenová skříň* [online]. [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://www.fabricatingandmetalworking.com/wp-content/uploads/2011/05/Zitney_FM_May_Photo1-1024x680.jpg
- [25] *Tubus vřetena* [online]. [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://jenatec.blogspot.cz/2009/01/jena-tec-secures-long-term-contract-in.html>
- [26] BIOLOŠOVÁ, Alena. *VIBRAČNÍ DIAGNOSTIKA* [online]. Ostrava, 2012 [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.spssol.cz/~vyuka/TRIDY/3.B/CAD/3%B0P%D8EVODOVKA/LO%AEISKA%20SKF/Prezentace/Lo%BEiska-diagnostika.pdf>
- [27] *Ferograf* [online]. [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: http://www.spectroaps.sk/?article=menu_detail.php&id=59
- [28] *Prístrojové vybavení* [online]. [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.firebrno.cz/tisnov/pristrojove-vybaveni>
- [29] *Vlastnosti motorových olejů - Kyselost a alkalita olejů* [online]. [cit. 2013-05-14]. Dostupné z: <http://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Kyselost-a-alkalita-oleju>
- [30] HRABEC, L.: *Přednášky Tribologie a tribotechnika*. Ostrava 2010. 9 dílů
- [31] *Norma ČSN ISO 10 816-3, Průmyslové stroje se jmenovitým výkonem nad 15kW a jmenovitými otáčkami mezi 120-min⁻¹ a 15000 min⁻¹ při měření in situ*.

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval firmě Česká zbrojovka a.s. Uherský Brod za důvěru a podporu, a to především Ing. Tomáši Tinkovi za řadu konzultací, odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Dále děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Ladislavu Hrabcovi Ph.D. za odborné a časté konzultace, které vedly k úspěšnému ukončení mé práce a všem, kteří se i v malé míře podíleli jak radami, tak i komentáři k mé práci.

SEZNAM PŘÍLOH

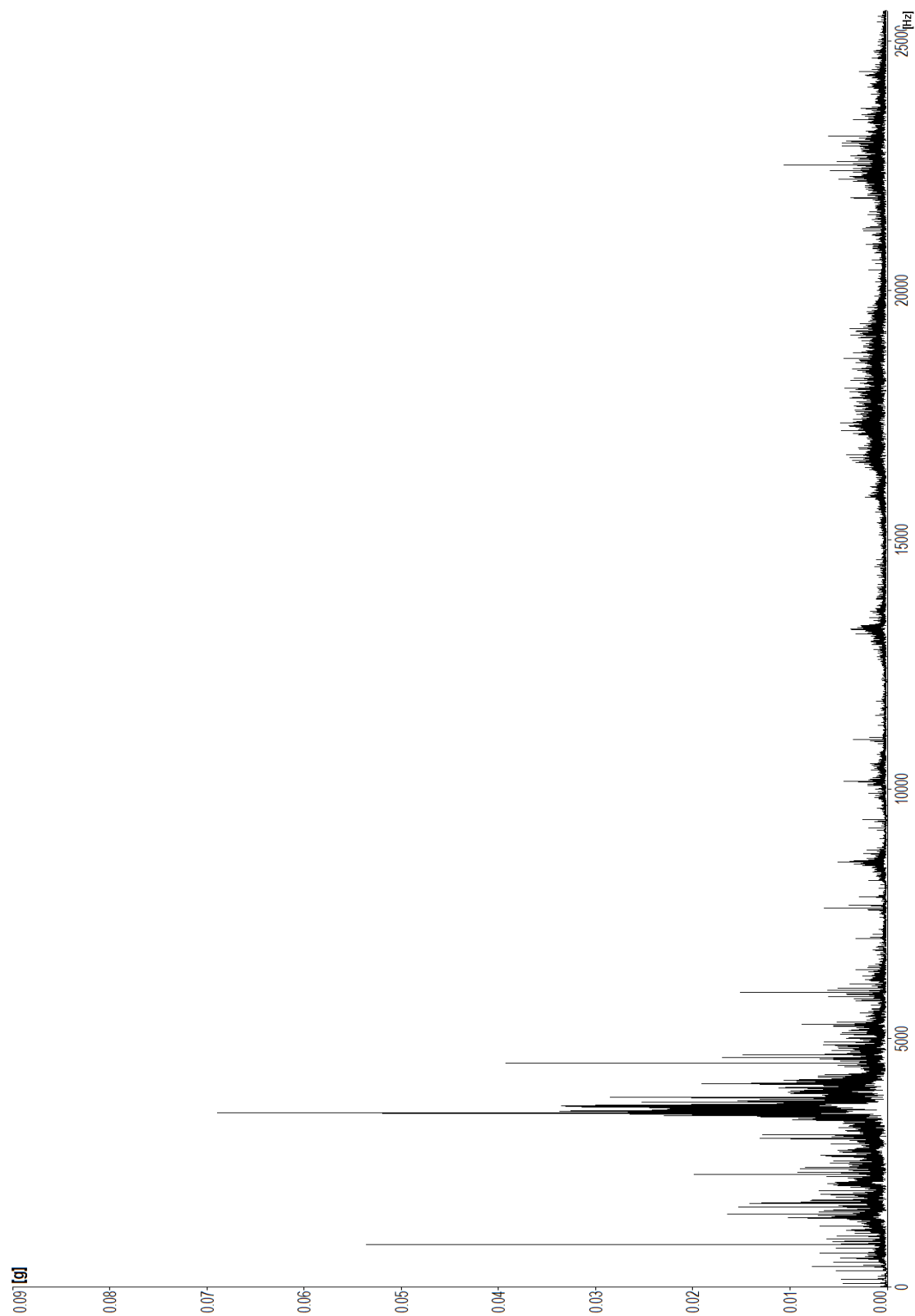
Příloha A: Frekvenční spektrum stroje Heller H 2000 H1 3. měření

Příloha B: Frekvenční spektrum stroje Heller H 2000 H2 3. měření

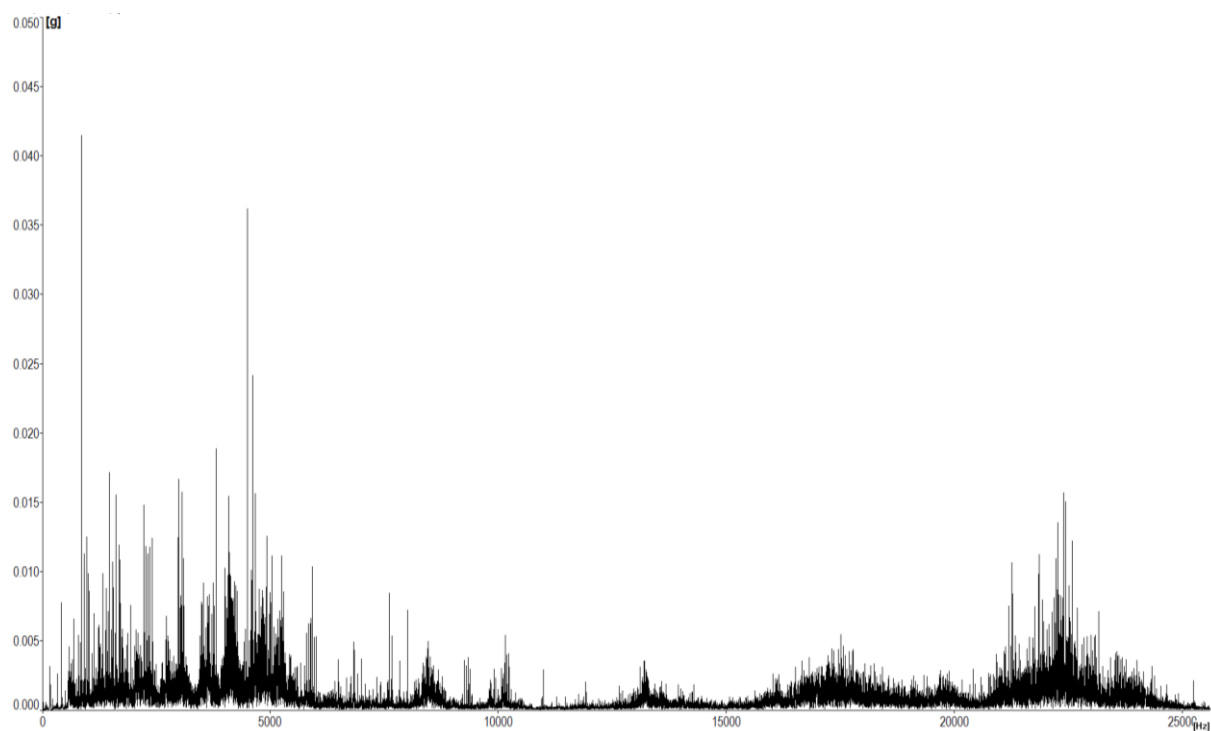
Příloha C: Frekvenční spektrum stroje Heller H 2000 H3 3. měření

Příloha A: Frekvenční spektrum stroje Heller H 2000 H1 3. měření

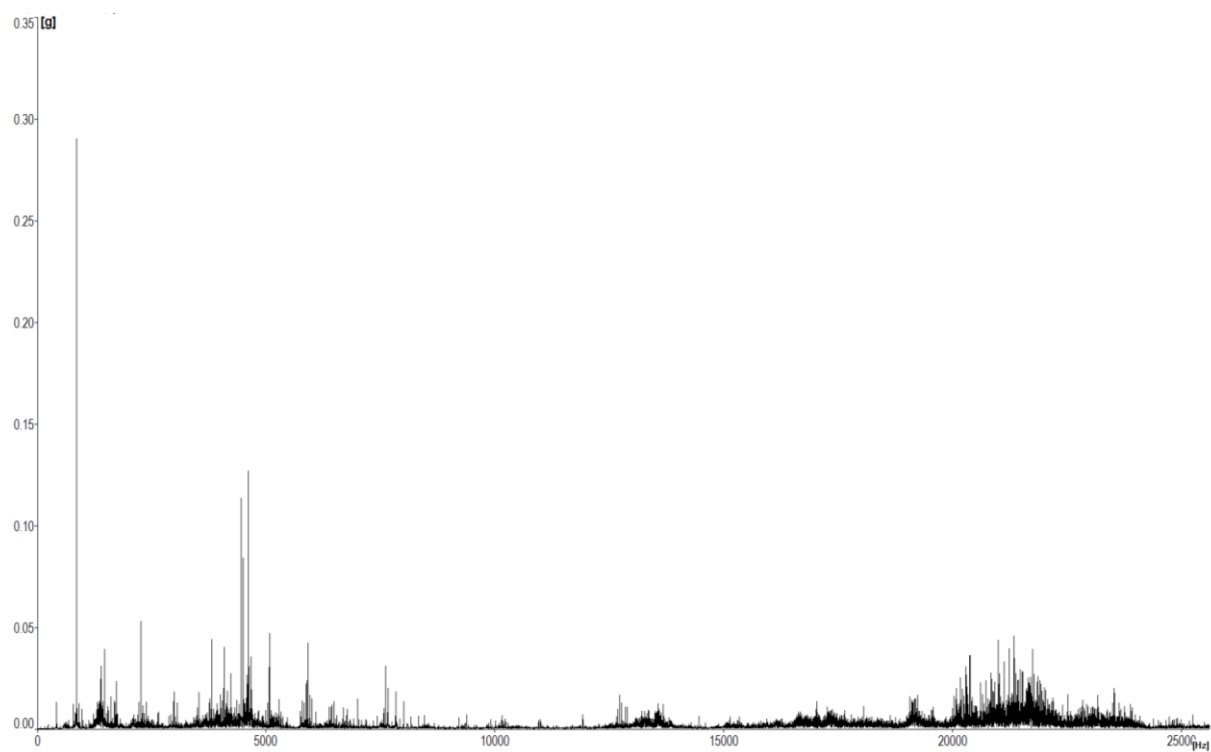
Vertikální směr:



Horizontální směr:

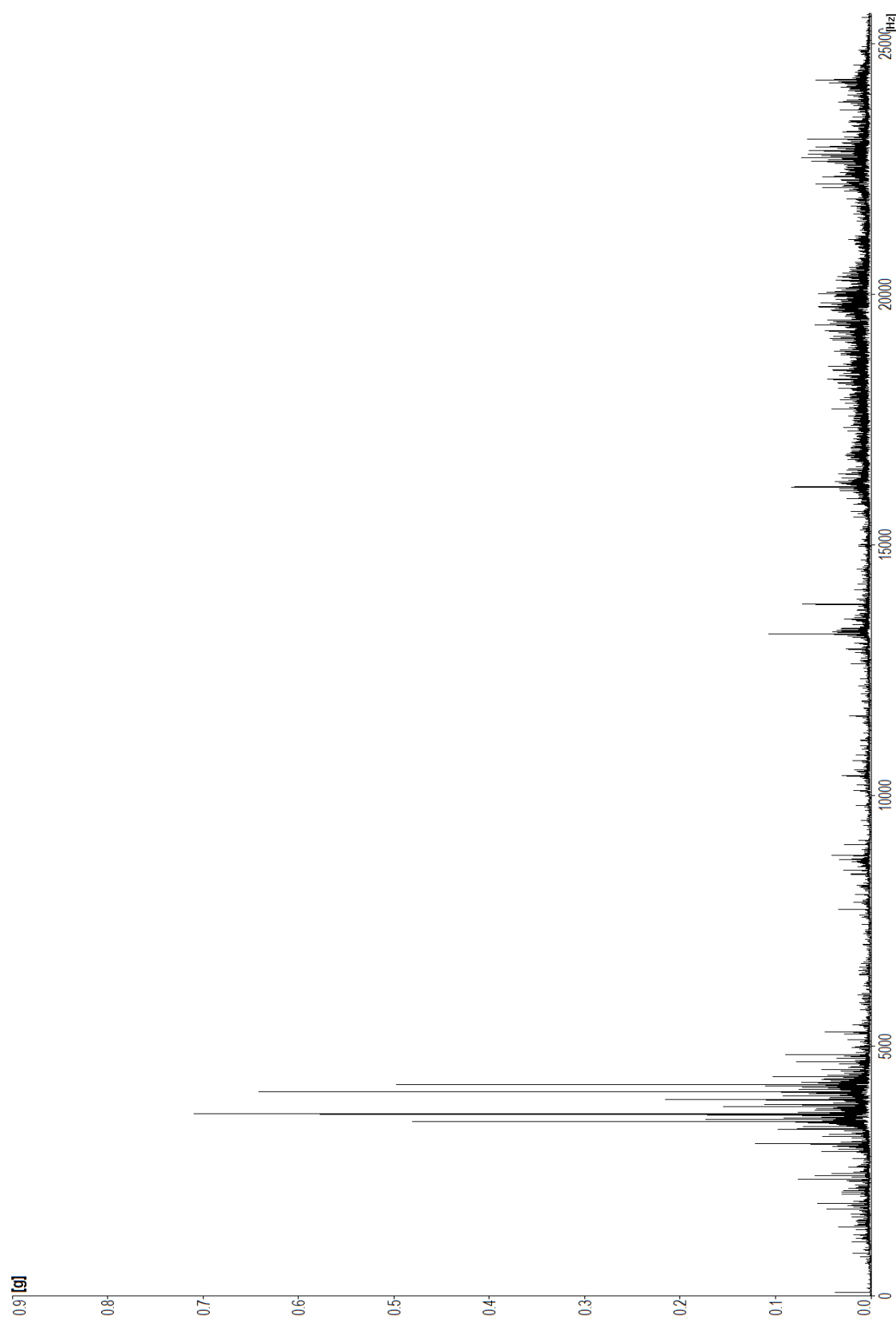


Axiální směr:

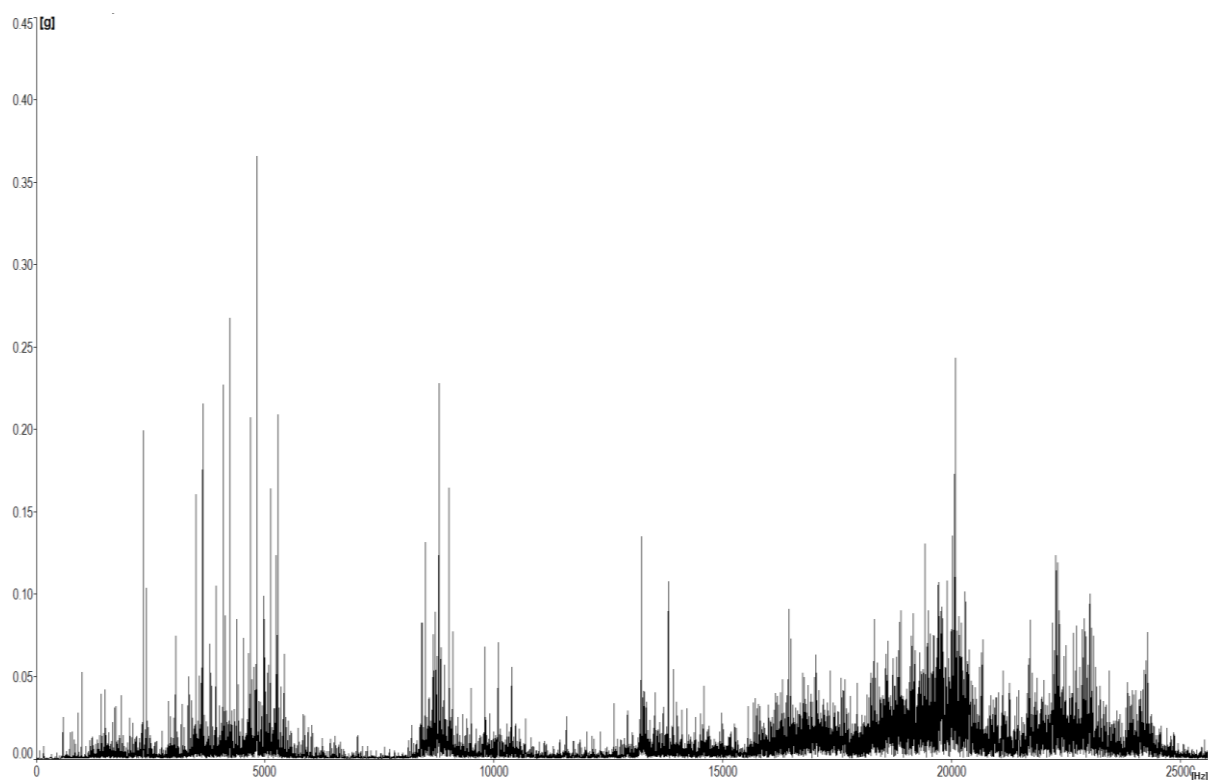


Příloha B: Frekvenční spektrum stroje Heller H 2000 H2 3. měření

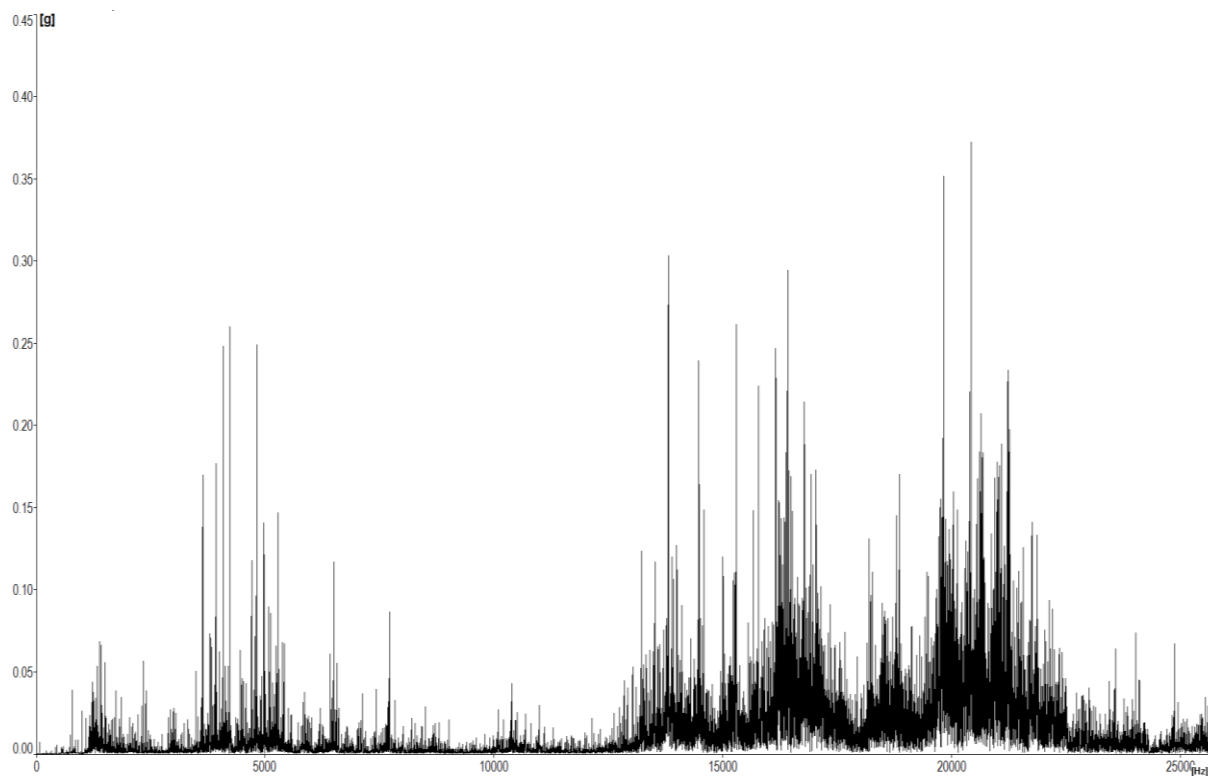
Vertikální směr:



Horizontální směr:

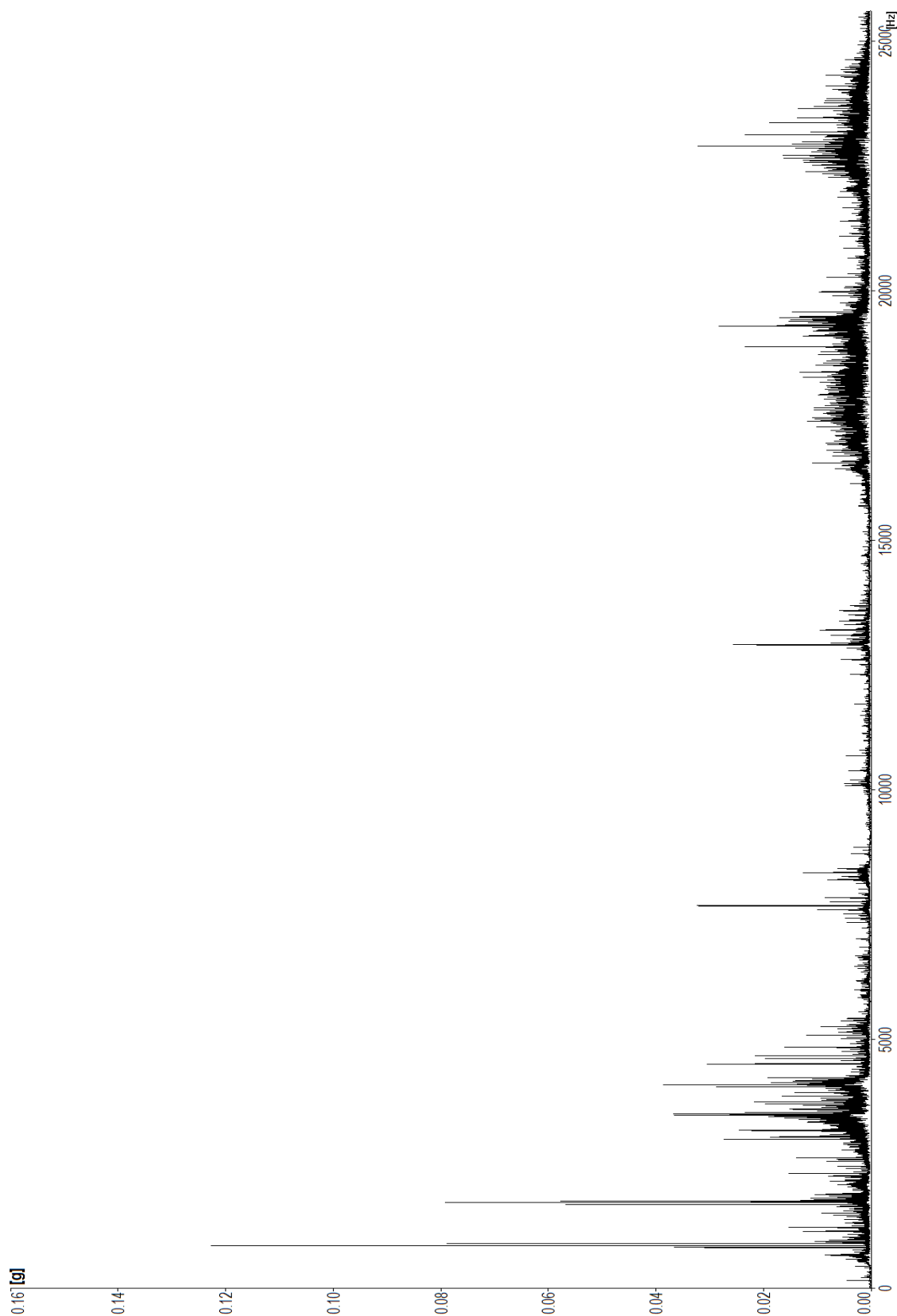


Axiální směr:

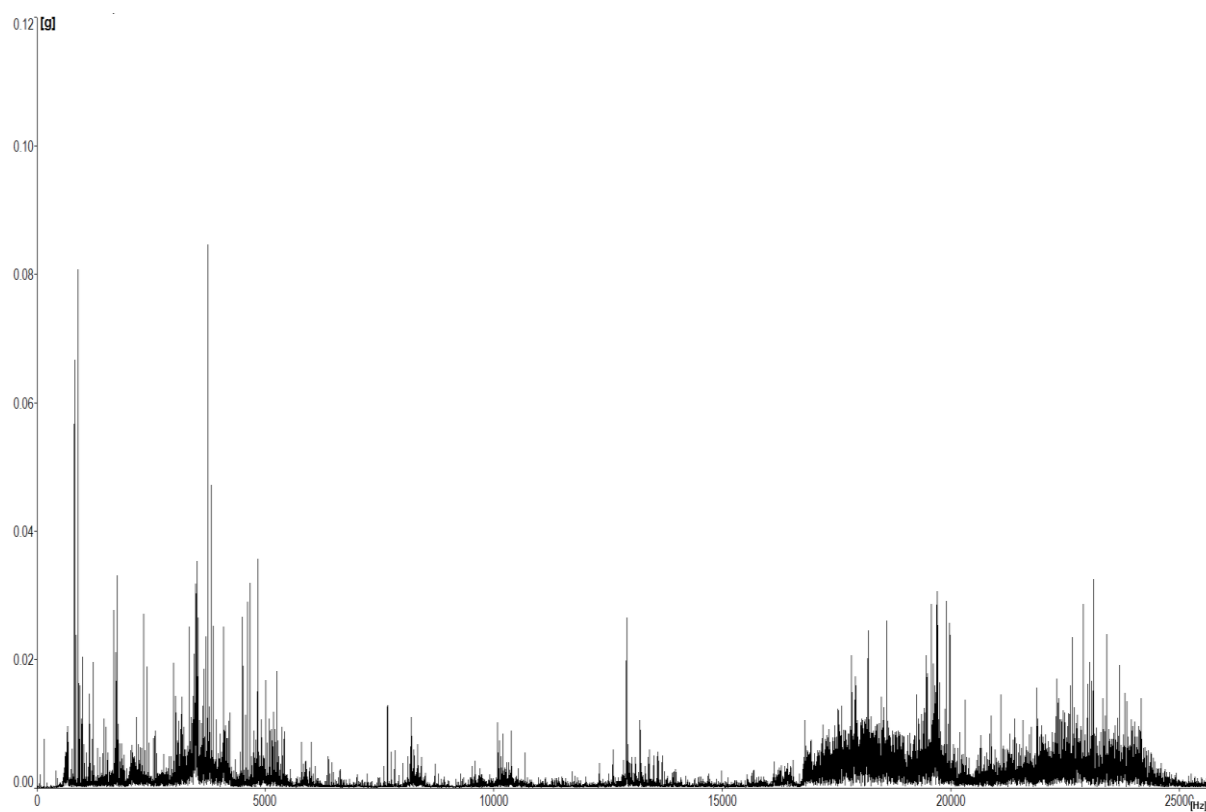


Příloha C: Frekvenční spektrum stroje Heller H 2000 H3 3. měření

Vertikální směr:



Horizontální směr:



Axiální směr:

